



**GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON
CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS
BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA
CRÍTICA DE QUITO – ECUADOR.**

RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

ERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

NING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for-profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame alien to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its summaries and indexes.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO – ECUADOR.

RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



**UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI**

Geopronósticos de asentamientos con construcción civil en áreas periféricas basado en autómatas celulares, caso zona crítica de Quito – Ecuador.

Geopronostics of settlements with civil construction in the peripheries based on cellular automates, case of the critical zone of Quito – Ecuador.

RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



TESIS DOCTORAL – DOCTORAL THESIS

2022

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

**GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON
CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO EN
AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE
QUITO – ECUADOR.**

GEOPRONOSTICS OF SETTLEMENTS WITH CIVIL
CONSTRUCTION IN THE PERIPHERIES BASED ON CELLULAR
AUTOMATES, CASE OF THE CRITICAL ZONE OF QUITO –
ECUADOR.

TESIS DOCTORAL

Dirigida por:

Dra. María Yolanda Pérez

Dr. Pau de Solà–Morales Serra

Departamento de Geografía



**UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI**

Tarragona

2022

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI

HAGO CONSTAR que el presente trabajo, titulado “GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRITICA DE QUITO – ECUADOR.”, que presenta René Esteban Ulloa Espíndola para la obtención del título de Doctor, ha sido realizado bajo mi dirección en el Departamento de Geografía de esta Universidad.

I STATE that the present study, entitled “GEOPRONOSTICS OF SETTLEMENTS WITH CIVIL CONSTRUCTION IN THE PERIPHERIES BASED ON CELLULAR AUTOMATES, CASE OF THE CRITICAL ZONE OF QUITO – ECUADOR.”, presented by René Esteban Ulloa Espíndola for the award of the degree of Doctor, has been carried out under my supervision at the Department of Geography of this university.

Tarragona, junio de 2022.

Firmado
digitalmente por
Maria Yolanda
Perez Albert - DNI 39674202F (TCAT)
Fecha: 2022.06.17
16:28:52 +02'00'

**Dra. María Yolanda
Pérez Albert**

cee84bb9-41f2-4238-
b423-dfa5c2bf263e
cn=cee84bb9-41f2-423
8-b423-dfa5c2bf263e
2022.06.19 13:35:13
+02'00'

**Dr. Pau de
Solà-Morales Serra**

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

Para mi hija

Emma Valentina y

Mi Esposa

Elisa

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

El hombre nunca sabe de lo que es capaz,

hasta que lo intenta.

Charles Dickens

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Dra. María Yolanda Pérez, al Dr. Pau de Solà-Morales y al Dr. Ignacio Muro Morales por su guía, dirección y acompañamiento en el desarrollo de esta tesis.

A mi familia por haberme acompañado en esta etapa de mi vida tan importante, en especial a Elisa por ser el principal pilar en mi hogar y desarrollo profesional.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

Índice.

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 2	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	5
CAPÍTULO 3	27
3. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO.	27
3.1. Preguntas de investigación	27
3.2. Hipótesis.	29
3.3. Objetivos.	30
3.4. Área de estudio.	31
CAPÍTULO 4	53
4. LA CIUDAD, EL CRECIMIENTO Y LA SOSTENIBILIDAD URBANA.	53
4.1. Conceptos de la ciudad, el crecimiento urbano y la sostenibilidad urbana.	53
4.1.1. Conceptos de Ciudad	54
4.1.2. Las ciudades como sistemas complejos.	58
4.1.3. Morfología urbana.	61
4.1.4. Crecimiento urbano y sostenibilidad	73
4.2. Las Ciudades Latinoamericanas. El caso de ciudades ecuatorianas y de Quito.	82
4.2.1. La expansión de las ciudades ecuatorianas y los métodos para su medición	86
4.2.2. La ciudad de Quito y su expansión.	91
CAPÍTULO 5	97
5. LOS MODELOS DE CRECIMIENTO URBANO.	97
5.1. El modelamiento espacial de procesos de crecimiento urbano.	97

5.1.1.	Los modelos teóricos y espaciales. -----	98
5.1.2.	Evolución de los modelos espaciales urbanos. -----	100
5.1.3.	Modelos de dinámicas de ocupación territorial. -----	101
5.1.4.	Modelos Regionales (Espaciales – <i>Stocks and Flows</i>). -----	104
5.1.5.	Complejidad en los modelos espaciales. -----	105
5.2.	Geopronóstico espacial.-----	106
5.2.1.	Geosimulación de información espacial -----	106
5.2.2.	Métodos espaciales actuales para estudios del análisis urbano. -----	108
5.3.	Autómatas Celulares (AC) -----	113
5.3.1.	Vecindad en los autómatas celulares. -----	117
5.3.2.	Complejidad de los AC.-----	119
5.3.3.	Autómatas celulares estocásticos probabilísticos. -----	125
5.3.4.	Aplicaciones de los autómatas celulares. -----	126
5.4.	Procesos Urbanos con AC: casos de estudio. -----	128
5.4.1.	Casos de estudio.-----	130
CAPÍTULO 6-----		139
6.	DISEÑO DE LA METODOLOGÍA. -----	139
6.1.	Descripción general de la metodología. -----	139
6.2.	Revisión de literatura y estudios precedentes en modelamiento de procesos urbanos. -----	142
6.3.	Consideraciones y generación de la información de partida. -	143
6.4.	Trabajo de campo, entrevistas y encuesta digital. -----	151
6.5.	Herramienta de análisis y geoprocésamiento.-----	155
CAPÍTULO 7-----		159
7.	CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE CRECIMIENTO URBANO PARA UN SECTOR DE LA PERIFERIA NORTE EN LA PARROQUIA DE CALDERÓN DE LA CIUDAD DE QUITO ECUADOR.-	159
7.1.	Generación de información histórica de partida. -----	160

7.2.	Selección de los factores que conducen la proliferación de los asentamientos en la zona de estudio – variables predictoras. -	170
7.3.	Construcción del modelo de predicción del crecimiento urbano. -----	181
7.3.1.	Generación de matrices históricas de transición. -----	182
7.3.2.	Cálculo de pesos de evidencia. -----	186
7.3.3.	Análisis de correlación de variables. -----	196
7.3.4.	Generación de simulaciones aplicando autómatas celulares: pruebas para su validación. -----	198
7.3.5.	Validación del modelo y revisión de las variables de predicción. -----	200
7.3.6.	Generación del modelo de crecimiento urbano de la periferia norte de la ciudad de Quito 2018 – 2050. -----	206
CAPÍTULO 8-----		209
8.	RESULTADOS.-----	209
8.1.	El crecimiento urbano de la periferia norte de la parroquia de Calderón en la ciudad de Quito entre los años 2003 y 2018. -	209
8.2.	Factores determinantes en la probabilidad de crecimiento urbano. -----	215
8.2.1.	Construcción de las capas de las variables predictoras. -----	215
8.2.2.	Resultados generales de las encuestas dirigidas a los habitantes del sector. -----	229
8.2.3.	Cálculo de los pesos de evidencia. -----	232
8.2.4.	Análisis de correlaciones de las variables. -----	241
8.3.	Validación, grado de predicción del modelo. -----	247
8.3.1.	Primer momento: validación con siete variables (Variables físicas).-----	248
8.3.2.	Primer momento: validación con seis variables (combinación de las variables “Tendido Eléctrico y Vías y Calles”).-----	255
8.3.3.	Segundo momento: validación con seis variables físicas (variables combinadas “Tendido Eléctrico y Vías y Calles”) y variables sociales. ----	261
8.4.	Expansión urbana de la periferia del nororiente de Quito, parroquia de Calderón-----	268
8.4.1.	Proyecciones de expansión urbana futura, escenarios de crecimiento urbano. -----	269
8.4.2.	Evidencias de la expansión urbana.-----	272
CAPÍTULO 9-----		275

9.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.	275
9.1.	Discusión.	275
9.2.	Conclusiones	279
CAPÍTULO 10		291
10.	BIBLIOGRAFÍA.	291
11.	ANEXOS.	319

Índice de figuras.

Figura 1. Tasa de crecimiento del DMQ.	7
Figura 2. Población del DMQ, 2019 – 2020.....	8
Figura 3. Configuración física natural de la ciudad de Quito.....	11
Figura 4. Configuración vial principal del Centro y Norte de Quito.....	13
Figura 5. Zonas urbanas del DMQ.	14
Figura 6. Proceso de Movilización Residencial	15
Figura 7. Corredores urbanos generados por la conurbación de Cantones aledaños al DMQ.....	18
Figura 8. Crecimiento de la mancha urbana DMQ, 1760-2015.	19
Figura 9. Zonas Administrativas del DMQ.	22
Figura 10. Ubicación de la provincia de Pichincha en el Ecuador continental. .	32
Figura 11. Ubicación del DMQ en la Provincia de Pichincha.....	33
Figura 12. Ubicación del DMQ con otras Regiones Autónomas del Ecuador (zonas de planificación nacional).	34
Figura 13. Administraciones Zonales del DMQ.....	35
Figura 14. Parroquias rurales del DMQ (a) y parroquias urbanas del DMQ (b).	37
Figura 15. Urbanizaciones cerradas conformadas entre 10 y 50 viviendas.....	41
Figura 16. Ubicación del área de estudio, norte de la parroquia de Calderón, DMQ.....	44
Figura 17. Imagen Satelital en perspectiva de la zona de estudio (azul claro) y del extremo norte de la parroquia de Calderón (azul más intenso).	45
Figura 18. Mapa del Plan y Uso del Suelo de la zona de estudio y alrededores.	49
Figura 19. Ocupación de la mancha urbana en las laderas occidentales de Quito (faldas del Volcán Pichincha).	51
Figura 20. Modelos de economía espacial: Von Thünen y Christaller.	59
Figura 21. Metabolismo de los sistemas urbanos.	60

Figura 22. Modelos fractales (copo de Von Koch a la izquierda o deposito electrolítico de zinc a la derecha).	64
Figura 23. Fisionomía reticular en el ensanche de la ciudad de Barcelona.....	65
Figura 24. Forma urbana ortogonal, sur oeste de la ciudad de Guayaquil Ecuador.	66
Figura 25. Urbanidad concéntrica, Paris – Francia.	67
Figura 26. Morfología planimétrica de la ciudad de Quito – Ecuador (arriba) y Diseño plato roto del centro norte de Quito (abajo).	69
Figura 27. Ciudad de Mannheim Alemania, amurallada y ortogonal.....	70
Figura 28. Morfología Lineal, a) Santa Rosa Argentina, b) zona rural Guayaquil Ecuador,.....	71
Figura 29. Morfología constelación. A lo largo del Valle del Cauca en Colombia, al Sur Santander de Quilichao, al noroccidente Jamundí.	72
Figura 30. Morfología satélite, ciudad de Cali Colombia.	72
Figura 31. Cinturón verde alrededor de Londres.....	74
Figura 32. Límite periurbano conceptualizado de forma fractal.	79
Figura 33. Evolución de la mancha urbana y crecimiento urbano periférico.....	89
Figura 34. Crecimiento en tres fases de Quito.....	95
Figura 35. AC bidimensional con dos evoluciones o iteraciones y dos estados de celdas (blanco o negro).	113
Figura 36. Elementos de un AC.....	114
Figura 37. Ejemplo de Juego de la Vida Jhon Conway.....	115
Figura 38. Vecindad de un AC para dos dimensiones.....	118
Figura 39. Vecindad de Margolus configuración rectangular.	119
Figura 40. Configuración de AC 1D con $r=1$	120
Figura 41. AC bidimensional con $r=1$, celda central y sus vecinos, representado en un plano o grilla.	120

Figura 42. Estructura de un AC de 3 dimensiones representados en el espacio.	121
Figura 43. Regla No. 30 de Wolfram, se muestra las 20 primeras generaciones.	121
Figura 44. Reglas de Autómatas celulares elementales de Wolfram y sus patrones en las primeas generaciones.....	122
Figura 45. Cuatro clases de AC de Wolfram, clase I arriba izq., clase II arriba dcha., clase III abajo izq., clave IV abajo dcha.	123
Figura 46. Patrones generados a. estables b. cíclicos y c. móviles.....	124
Figura 47. Algunos trabajos con implementación de AC en crecimiento urbano alrededor del globo.	131
Figura 48. Flujograma general de la metodología.....	141
Figura 49. Meseta central de Quito conformado por lagunas.....	144
Figura 50. Plano de la ciudad de Quito de 1734.....	145
Figura 51. Edificaciones asentadas en laderas con pendientes en la zona de estudio, áreas de riesgo.	147
Figura 52. Apertura de caminos artesanales.....	148
Figura 53. Asentamientos y caminos alrededor de plantas de tratamiento de agua potable (a y b) y torres de alta tensión (c y d), barrio Luz y Vida, cerca de la zona de estudio.	150
Figura 54. Distribución geográfica de las propiedades (marcas azules) dentro de la zona de estudio Entrevistas.....	153
Figura 55. Pantallas de los grupos de mensajería a los cuales se envió la encuesta electrónica.....	155
Figura 56. Edificaciones conocidas como mediaguas asentadas en la zona de estudio.....	162
Figura 57. Propiedades con mediaguas como origen de las edificaciones posteriores.....	163

Figura 58. Propiedades fraccionadas.....	164
Figura 59. Apertura de caminos informales conectados a vías formales.	166
Figura 60. Construcción y tipo de material típicos de la zona de estudio.	167
Figura 61. Estructura industrial tomada para reutilizarla en residencia.	167
Figura 62. Coberturas ráster de la digitalización de los asentamientos, zona de estudio.....	169
Figura 63. Tendido eléctrico domiciliario en zona de asentamientos dispersos.	171
Figura 64. Coberturas vectoriales (imágenes de la derecha) y ráster (imágenes de la izquierda) procesadas con distancia euclidiana.	175
Figura 65. Cobertura vectorial curvas de nivel (derecha) y ráster (izquierda) mapa de pendientes rasterizado.	176
Figura 66. Extracto de zona de estudio que presenta cambios en el periodo 2003 – 2018, se presentan las transiciones entre los valores considerados (0 y 1). ...	183
Figura 67. Submodelo “ <i>Determine Transition Matrix</i> ” entre las dos capas binarias (construcción / sin construcción) de 2003 y 2018.	186
Figura 68. diagramas que ilustra los cálculos de pesos de evidencia.....	189
Figura 69. Cubo Ráster creado en DinamicaEgo® a través de " <i>Create Cub Map</i> "	193
Figura 70. Submodelo de DinamicaEgo® para determinar los rangos para el cálculo de pesos de evidencia.	194
Figura 71. Submodelo para el cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia.....	195
Figura 72. Sub modelo de DinamicaEgo® que calcula la correlación entre las variables.....	197
Figura 73. Submodelo Dinámica Ego® que genera mapas de probabilidades y simulaciones con autómatas celulares.	200

Figura 74. Imagen a) función de decaimiento con factor de atenuación igual a 1, $A=1$; imagen b) función de decaimiento con factor de atenuación igual a 10, $A=10$	202
Figura 75. Ventana 3x3 con valores de probabilidad, según la función de decaimiento.....	202
Figura 76. Coberturas de cambio generadas a partir de las coberturas reales inicial de 2003 y final del periodo (2018) y la cobertura simulada de 2018.	203
Figura 77. Comparación <i>fuzzy</i> y construcción de las coberturas de probabilidad de validación.....	204
Figura 78. Submodelo construido en DinamicaEgo® que permite ejecutar la validación por similitud recíproca.	205
Figura 79. Modelo de predicción de escenarios futuros.....	208
Figura 80. Digitalización de construcciones clasificadas en dos clases a partir de imágenes.	214
Figura 81. Variable predictora Distancia a Vías y Calles geoprocesada con distancia euclidiana.....	217
Figura 82. Variable predictora Distancia a redes de Agua y Saneamiento geoprocesada con distancia euclidiana.	218
Figura 83. Variable predictora Distancia a Redes de Tendido Eléctrico geoprocesada con distancia euclidiana.	219
Figura 84. Variable predictora Pendiente del Terreno geoprocesada con <i>slope</i> (pendientes).....	220
Figura 85. Variable predictora Plan de Uso del Suelo reclasificada.	221
Figura 86. Variable predictora Aptitud Agrícola reclasificada.	222
Figura 87. Variable predictora Distancia a Instituciones de Educación geoprocesada con distancia euclidiana.	223
Figura 88. Variable predictora Distancia a Instituciones de Salud geoprocesada con distancia euclidiana.....	224

Figura 89. Variable predictora Analfabetismo reclasificada.....	225
Figura 90. Variable predictora Emigración Externa.....	226
Figura 91. Variable predictora Nivel de Instrucción.....	227
Figura 92. Variable predictora Intención de edificación construida.....	228
Figura 93. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.	230
Figura 94. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.	231
Figura 95. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.	231
Figura 96. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.	232
Figura 97. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “ <i>Patch Mean Size</i> ” = 0, “ <i>Patch Variance</i> ” = 1 y “ <i>Patch Isometry</i> ” = 0.....	250
Figura 98. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “ <i>Patch Mean Size</i> ” = 0, “ <i>Patch Variance</i> ” = 1 y “ <i>Patch Isometry</i> ” = 0.....	251
Figura 99. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “ <i>Patch Mean Size</i> ” = 1, “ <i>Patch Variance</i> ” = 1 y “ <i>Patch Isometry</i> ” = 0.....	252
Figura 100. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “ <i>Patch Mean Size</i> ” = 1, “ <i>Patch Variance</i> ” = 1 y “ <i>Patch Isometry</i> ” = 0.....	253
Figura 101. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con	

configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0..... 254

Figura 102. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0..... 255

Figura 103. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0..... 256

Figura 104. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0..... 257

Figura 105. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0..... 258

Figura 106. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0..... 259

Figura 107. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0..... 260

Figura 108. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0..... 261

Figura 109. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con

configuración “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0. 262

Figura 110. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0. 263

Figura 111. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0. 264

Figura 112. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0. 265

Figura 113. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0. 266

Figura 114. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0. 267

Figura 115. Expansión urbana futura de la periferia de estudio. Fuente: elaboración propia, ejecución del modelo. 269

Figura 116. Coberturas geográficas de las proyecciones futuras de la periferia estudiada. 271

Figura 117. a, b Promoción de venta de lotes en lugares poco convencionales, cercanías de la zona de estudio y c promoción y venta en el mismo terreno. ... 273

Índice de tablas.

Tabla 1. Crecimiento Poblacional y tasa de crecimiento DMQ.	6
Tabla 2. Evolución del crecimiento de la mancha urbana de Quito	20
Tabla 3. Apartados donde se resuelven las preguntas de investigación	29
Tabla 4. Crecimiento demográfico de las parroquias suburbanas – rurales (2000 – 2010).	39
Tabla 5. Usos de suelo de la parroquia Calderón años 2005 y 2015.	46
Tabla 6. Matriz de cambio de usos de suelo (ha.), parroquia de Calderón 2005 – 2015.	47
Tabla 7. Soluciones urbanas basadas en Inteligencia Artificial.....	109
Tabla 8. Recopilación de trabajos con modelación urbana bajo AC y sistemas geográficos.....	133
Tabla 9. Variables predictoras escogidas para la calibración del modelo.	173
Tabla 10. Matriz de cambio	184
Tabla 11. Matriz de cambio con valores correspondientes a la zona de estudio.	184
Tabla 12. Matriz de probabilidad de cambio (Markov).....	185
Tabla 13. Espacio ocupado por las construcciones en el área de estudio.....	210
Tabla 14. Probabilidades de transición calculadas para todo el periodo, 15 años.	215
Tabla 15. Tasa de transición anual.....	215
Tabla 16. Coeficientes de los pesos de evidencia de las variables predictoras	235
Tabla 17. Correlación pareada de variables, Índice de Cramer.	241
Tabla 18. Correlación pareada de variables con la capa combinada de "Tendido Eléctrico" y "Calles y Vías" (nueva capa “Vías y tendido eléctrico”, Índice de Cramer.	243
Tabla 19. Correlación pareada de variables incluidas variables sociales, Índice de Cramer.	244

Tabla 20. Grado de predicción obtenido bajo diferentes escenarios y sobre dos combinaciones de las variables predictoras.....	248
--	-----

Lista de Anexos.

Anexos A. Distribución entrevistas realizadas a los habitantes en el área de estudio.....	320
Anexos B. Entrevistas realizadas a los habitantes en el área de estudio.	321
Anexos C. Encuesta a través de formulario electrónico a grupos en redes sociales a habitantes de la parroquia de Calderón.....	363

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

Latinoamérica y el Caribe es la región que ha registrado la más rápida urbanización en el mundo (BID, 2011) así, en 2017 el 81% de su población vivía en ciudades y se esperaba que en 25 años esta cifra alcanzase al 90% de sus habitantes (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018b), es por ello que se necesitan nuevas herramientas que fomenten un crecimiento sostenible de las ciudades. Además, el mismo Banco Interamericano de Desarrollo (2018b) considera que las ciudades son esenciales para el desarrollo económico, esto obliga a pensar en el papel que actualmente está jugando la sostenibilidad en el desarrollo urbano. Expertos en crecimiento urbano podrían preguntarse si es conveniente experimentar tales cifras de crecimiento, considerando los desequilibrios ambientales, económicos y sociales que producen en las ciudades y que pueden generar barreras infranqueables para el desarrollo sostenible de los países. Para resolver estos desequilibrios es fundamental entender cómo funcionan las ciudades y su entorno, así como la influencia que tiene el ordenamiento territorial de las áreas colindantes. Tales circunstancias ya están definidas mediante políticas y ordenanzas; además, las ciudades están funcionando en el presente con la inercia derivada del urbanismo o del tipo de urbanización de sus orígenes. El reto y el arte de replanificar o rediseñar con las menores consecuencias negativas, radica en estudiar todas las posibles maneras de cambiar los entornos ya habitados y ocupados.

Los gobiernos locales, los que mejor conocen las necesidades y las vulnerabilidades de la población, no siempre intervienen con las mejores

decisiones para satisfacer las demandas y aspiraciones multifactoriales. Una muestra clara de ello son las gestiones con respecto a las necesidades de suelo que habitualmente se relacionan exclusivamente con las tendencias de densidad poblacional; una variable fundamental en el seno de las tareas de las administraciones.

La densidad poblacional generalmente se determina mediante el uso de la densidad media combinada con las tendencias de población y vivienda, de este modo, dependiendo del crecimiento demográfico y de la densidad de población que se planea alcanzar, las administraciones calculan la cantidad de suelo que se requiere para acomodar tal crecimiento, como zonas edificadas, sin edificar, espacios abiertos, etc. Estas cifras se estiman anticipadamente por períodos de 20 a 30 años y generalmente constan en los planes maestros de las administraciones.

Para ciudades como Quito (Ecuador), todavía resulta problemático estimar escenarios futuros de la expansión urbana, debido a que el municipio de la ciudad no gestiona oficialmente mecanismos de monitoreo y cálculo de nuevos asentamientos.

Este trabajo presenta una alternativa de monitoreo y medición del crecimiento urbano a través de un modelo geográfico basado en Autómatas Celulares (AC) que simula la tendencia del crecimiento expansivo de la periferia en un sector de la ciudad de Quito. El modelo básicamente consta de dos entradas de información: por un lado, las imágenes satelitales del crecimiento de la mancha urbana (edificaciones en general) en el sector, desde el año 2003 hasta 2018 y, por otro lado, el cómputo de las variables predictoras del crecimiento de la mancha urbana. Los resultados de estos dos procesos ingresan a un modelo de autómatas celulares para calcular las predicciones de los años siguientes, hasta 2050.

Cabe recalcar que los objetivos y metodologías de este proyecto fueron concebidos bajo las siguientes premisas:

- El límite periurbano de la ciudad de Quito ha llegado alcanzar a los accidentes geográficos que lo determinan; al este con depresiones, quebradas y valles, al oeste con elevaciones y faldas volcánicas, permitiendo así que la expansión urbana tome rumbo acelerado hacia el norte y sur de la ciudad, sectores donde amerita la metodología propuesta.
- No se ha considerado una contracción de la mancha urbana, sin embargo, la metodología utilizada con base en los datos de entrada determina la posibilidad de expansión o contracción.

El presente trabajo consta de 10 capítulos, incluido el presente dedicado a la introducción, con los siguientes contenidos. El capítulo 2 describe la problemática a resolver; detalla las realidades y circunstancias locales que han producido el desmesurado y mal controlado crecimiento urbano de la ciudad de Quito en Ecuador, a través de asentamientos periféricos irregulares. Este capítulo introduce los justificativos relacionados y motivantes de este trabajo.

El capítulo 3 despliega las preguntas de investigación, la hipótesis planteada, los objetivos y el área de estudio que delimitan el alcance que se plantea en esta investigación. Los capítulos 4 y 5 compilan el marco teórico que relacionan los conceptos de ciudad, formas y modelos de crecimiento y expansión, sostenibilidad y modelamiento urbano. Para elaborar estos apartados se ha recurrido a la revisión bibliográfica de trabajos similares, teóricos y experimentales, así como a casos prácticos de publicaciones científicas. El capítulo 6 presenta la propuesta metodológica que permite aplicar las técnicas de los Autómatas Celulares bajo un enfoque de Sistemas

de Información Geográfica (SIG). El capítulo 7, expone la parametrización de los submodelos y técnicas geoestadísticas ocupadas para proyectar escenarios futuros de los asentamientos.

En los capítulos 8 y 9 se presentan los resultados del modelo y las conclusiones, respectivamente. Estos contienen las coberturas geográficas de las proyecciones estimadas de los futuros asentamientos producidos en la periferia estudiada y las discusiones originadas con base en los resultados.

Por último, en el capítulo 10 se expone la bibliografía y seguidamente los anexos de la investigación.

CAPÍTULO 2

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Según el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) del Ecuador (2010: 45), el ordenamiento territorial comprende:

“Un conjunto de políticas democráticas y participativas de los gobiernos autónomos descentralizados que permiten su apropiado desarrollo territorial, así como una concepción de la planificación con autonomía para la gestión territorial, que parte de lo local a lo regional en la interacción de planes que posibiliten la construcción de un proyecto nacional, basado en el reconocimiento y la valoración de la diversidad cultural y la proyección espacial de las políticas sociales, económicas y ambientales, proponiendo un nivel adecuado de bienestar a la población en donde prime la preservación del ambiente para las futuras generaciones.”

Por ende y en apego a la constitución del Ecuador, El Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012 – 2022 (PMOT) del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), gestiona los siguientes instrumentos de planificación territorial (MDMQ, 2012):

- Plan de Usos y Ocupación del Suelo (Escala DMQ),
- Planes Maestros (Escala DMQ),
- Planes parciales (Escala zonal),
- Planes especiales (Escala sector),
- Proyectos urbano-arquitectónicos especiales (lotes mayores a 10.000 m²),

- Normas complementarias (Normas de Arquitectura y Urbanismo).

El PMOT, con base en los datos de los Censos de Población de 1950 al año 2010 del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), detalla un crecimiento demográfico acelerado entre estos años, donde las cifras más altas se registraron entre 1950 y 1982 con tasas de crecimiento anual entre el 3,71% y el 4,19% (Tabla 1). Según los datos oficiales del Censo de 2010, la población del DMQ creció siete veces alcanzando los 2.239.191 habitantes. En la Tabla 1 se evidencia el constante crecimiento de la población del DMQ contrastado con las dinámicas de las tasas de crecimiento y explicando de manera estadística la disminución del crecimiento en la ciudad consolidada con respecto a las parroquias rurales (Figura 1).

Tabla 1. Crecimiento Poblacional y tasa de crecimiento DMQ.

Año	Población			Periodo	Tasa de Crecimiento Anual %		
	DMQ	Quito	Parroquias rurales		DMQ	Quito	Parroquias rurales
1950	319.221	209.932	109.289				
1962	510.286	354.746	155.540	1950-1962	3,92	4,38	2,98
1974	782.651	599.828	182.843	1962-1974	3,71	4,56	1,36
1982	1.116.035	922.556	193.479	1974-1982	4,19	4,34	0,71
1990	1.409.845	1.100.847	258.439	1982-1990	2,92	2,99	3,68
2001	1.893.641	1.449.349	444.292	1990-2001	2,68	2,46	4,68
2010	2.239.191	1.619.146	620.045	2001-2010	2,17	1,50	4,10

Fuente: INEC. Censos de Población y Vivienda. Años 1950 – 2010.

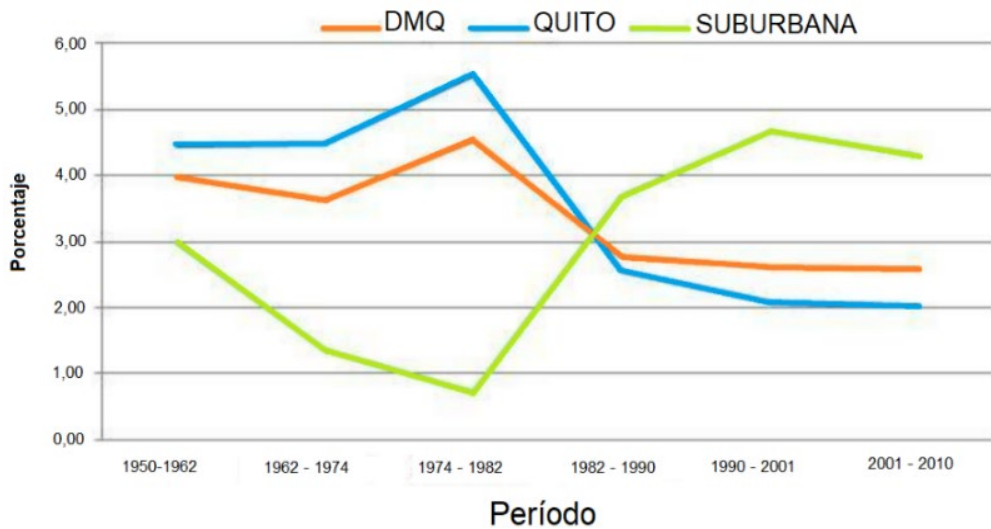


Figura 1. Tasa de crecimiento del DMQ.

Fuente: INEC. Censos de Población y Vivienda. Años 1950 – 2010.

En la actualidad (2022), según datos proyectados del INEC, el DMQ cuenta con 2.644.145 habitantes; solo en la ciudad de Quito la población proyectada es de 1.911.966, representando el 72%. En el año 2020, el DMQ ya es el cantón más poblado del Ecuador. En una publicación de un medio de comunicación de la capital denominado “El Comercio”, se menciona que Quito cerró el año 2018 como la ciudad más poblada del Ecuador (Carvajal, 2019). En la Figura 2, se identifica a la ciudad de Quito y a la parroquia de Calderón como las localidades más pobladas del DMQ.

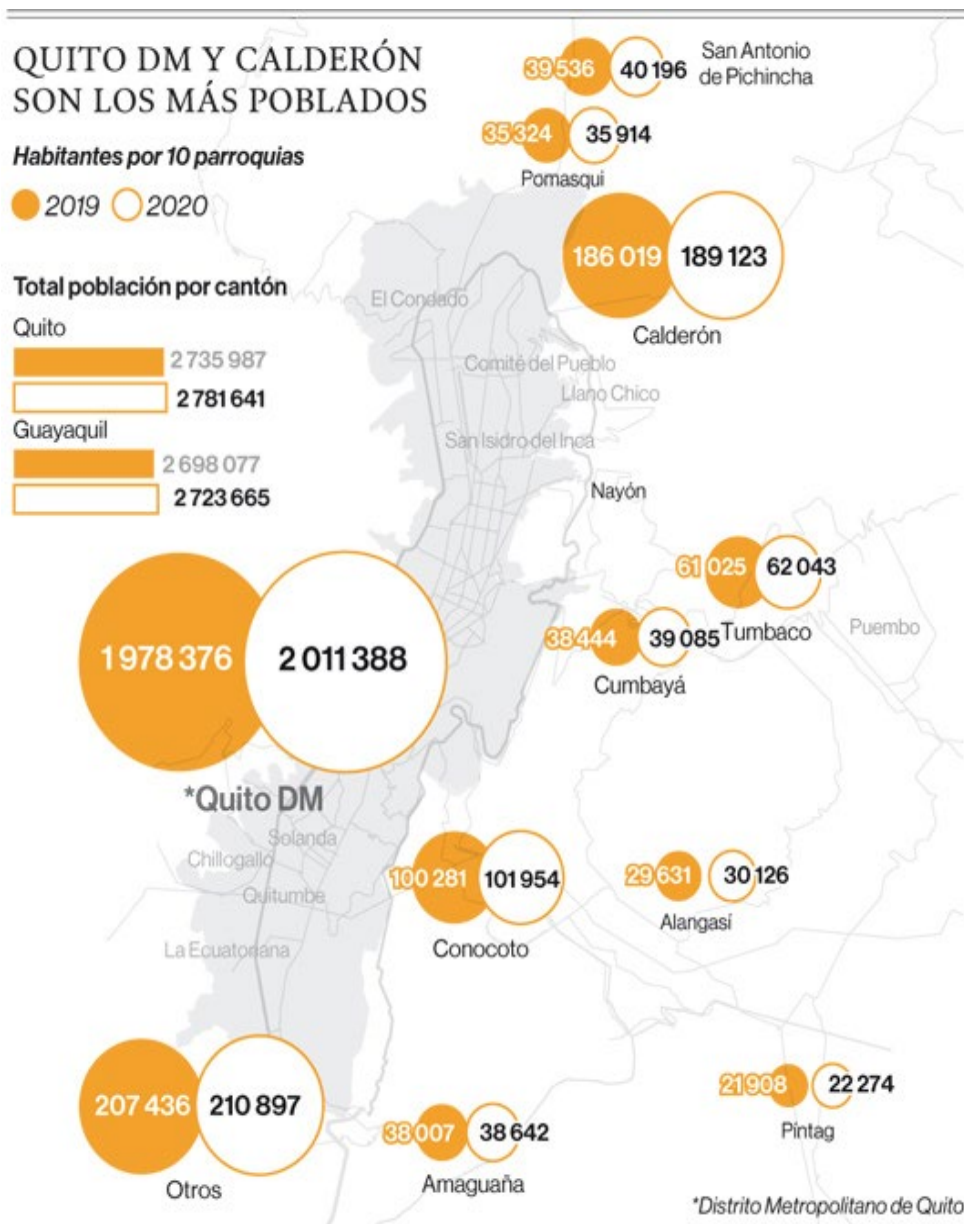


Figura 2. Población del DMQ, 2019 – 2020.
 Fuente: imagen tomada de Grupo EL COMERCIO, 2019

A partir de 1990 el proceso de peri-urbanización se ha sobrepuesto como el fenómeno característico del crecimiento urbano expansivo y disperso. El PMOT describe al DMQ con un crecimiento demográfico importante bajo

un contexto geográfico irregular y heterogéneo. Además, considera que el desarrollo urbano de Quito a partir de los años 70 ha observado:

“... una forma de crecimiento físico expansiva de baja densidad e inequitativa, que evidencia varias ineficiencias funcionales y ambientales caracterizadas por:

- El desequilibrio y asimetría en el desarrollo regional, producto de interdependencias funcionales y dependencias energéticas, alimentarias y productivas de otros territorios;
- La utilización urbanística de territorios rurales y recursos no renovables con potencialidad ecosistémica a través de procesos de subocupación del suelo urbano y conurbación con parroquias rurales;
- Sobresaturación de equipamientos y servicios en el área central de la ciudad; Débil estructuración jerárquica y limitado desarrollo de los centros poblados rurales;
- Accesibilidad y conectividad reducidas y limitadas por la geografía y la falta de conexión especialmente entre el sur y norte de la ciudad y de esta con los valles circundantes;
- Alta vulnerabilidad de las edificaciones frente a amenazas socio-naturales;
- Proliferación de patrones urbanísticos conformados por urbanizaciones cerradas que generan la fragmentación del territorio urbano;
- Un marco legal e institucional que privilegia exclusivamente la normativa urbanística, ignorando la incorporación e instrumentalización de nuevas alternativas de gestión orientadas hacia la construcción de consensos sobre visiones de desarrollo y los repartos equitativos de cargas y beneficios correspondientes.” (MDMQ, 2012:13).

De la misma forma, los componentes físicos que configuran la urbe de la ciudad son tan particulares como extremos, y han actuado como elementos habilitantes o restrictivos del desarrollo de la red urbana actual. Quito se ubica emplazada en las faldas orientales del estrato volcán activo Pichincha en la cordillera occidental de los Andes del Ecuador, posicionada a una altura promedio de 2.850 metros sobre el nivel del mar (msnm). Al norte limita con el volcán Casitagua, al este con la falla geológica conocida como la “Falla de Quito – Lumbisí”; el volcán Atacazo aparece en el sur y al oeste se encuentran las faldas del volcán Pichincha. La urbe se asienta sobre una meseta con terrero irregular cuya altura oscila entre 2.850 y 3.100 msnm, donde se ubican los barrios más elevados. Las diferentes elevaciones que rodean la ciudad forman un ambiente encerrado, principalmente por la cadena montañosa de los Andes, lo que ha determinado que la ciudad tome una forma alargada, de 50 km de largo y 4 km de ancho aproximadamente (Figura 3) (EPN, 2021).



Figura 3. Configuración física natural de la ciudad de Quito.

Norte hacia esquina superior derecha.

Fuente: imagen tomada de Google Earth (2022).

La forma particular de la ciudad conlleva grandes complejidades y acarrea un sinnúmero de problemas sociales, económicos y ambientales que afectan a su funcionalidad y en general al convivir de sus ciudadanos. En consecuencia, la evolución de la red vial se ha debido adaptar al desarrollo del territorio y a la dinámica de la movilidad cotidiana; en general, los ciudadanos cada vez deben utilizar mayores tiempos para realizar sus viajes, incluso en las troncales de los corredores integrados, representados por los ejes longitudinales. Los ejes viales periféricos proliferan de forma desordenada habilitando la posibilidad del crecimiento de la “mancha” urbana (Figura 4).

A escala del DMQ, las zonas urbanas de la ciudad de Quito están sobrepasando los límites administrativos, ocupando hacia el sur espacios propios del cantón Machachi y Rumiñahui, y alcanzando hacia el norte el cantón Pedro Moncayo (Figura 5).

El crecimiento disperso de la ciudad de Quito ha provocado que la mancha urbana evolucione a un ritmo más acelerado que el crecimiento de la población, ocupando más espacio tanto hacia los valles orientales del DMQ como hacia el sur y norte. Esto provoca la concentración de equipamiento y empleos en lugares cada vez más alejados y dispersos, dificultando el acceso de los habitantes en todo nivel; como consecuencia, la calidad de vida disminuye y la relación campo – ciudad se altera. El hipercentro de la ciudad, con un índice de calidad de vida relativamente alto, actualmente se está despoblando, lo que significa que el Municipio del DMQ debe destinar importantes presupuestos en provisión de infraestructura a las zonas alejadas de bajas densidades (Figura 6).

El hipercentro de la ciudad concentra el 54% del empleo, no obstante, no es correspondido con la localización de la Población Económicamente Activa (PEA), ya que solo el 14% de ella vive allí. La mayor concentración de la PEA se encuentra ubicada en el extremo norte y sur de la ciudad (Muñoz, 2017).

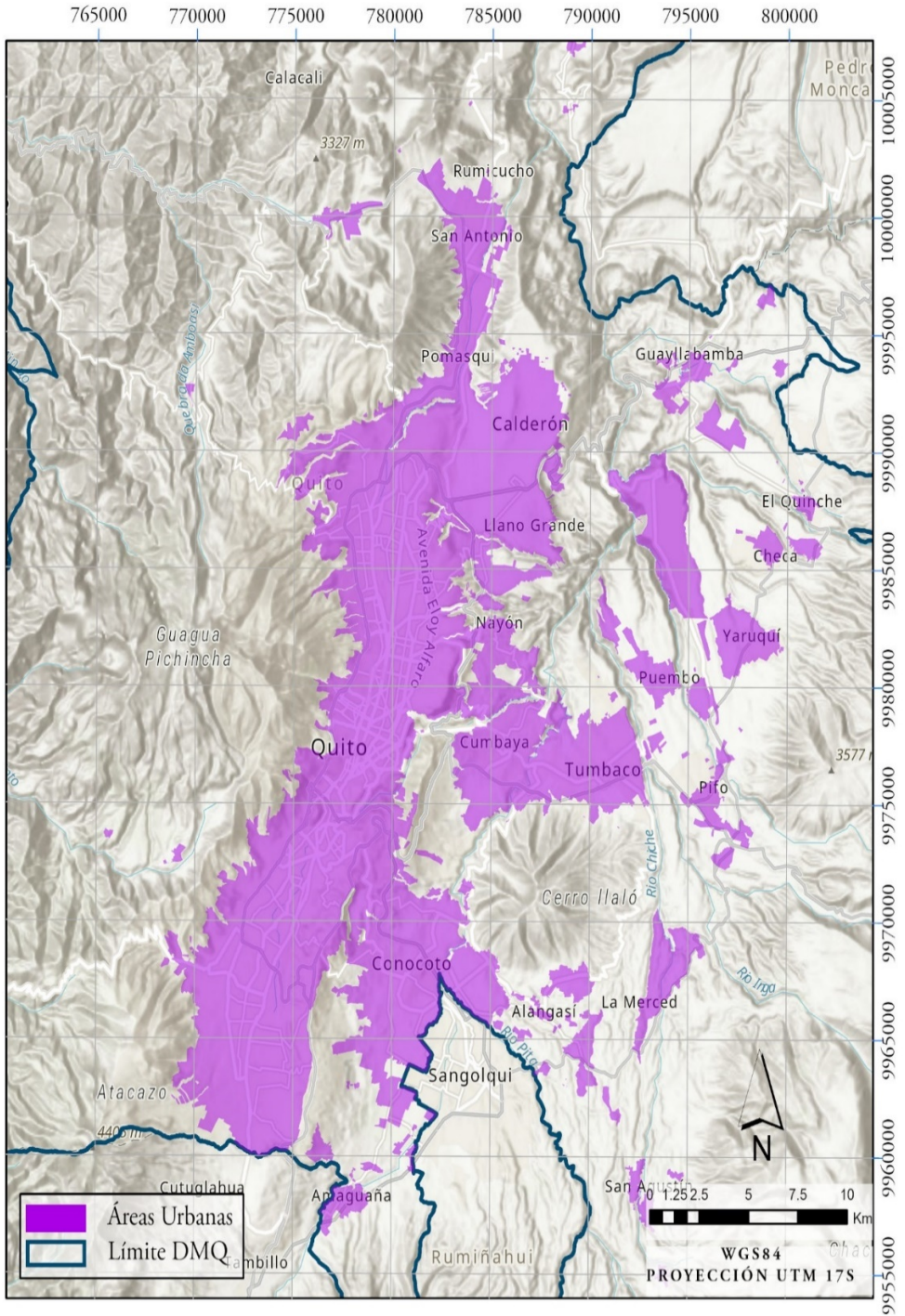


Figura 5. Zonas urbanas del DMQ.

Fuente: elaboración propia a partir de Gobierno Abierto del DMQ.

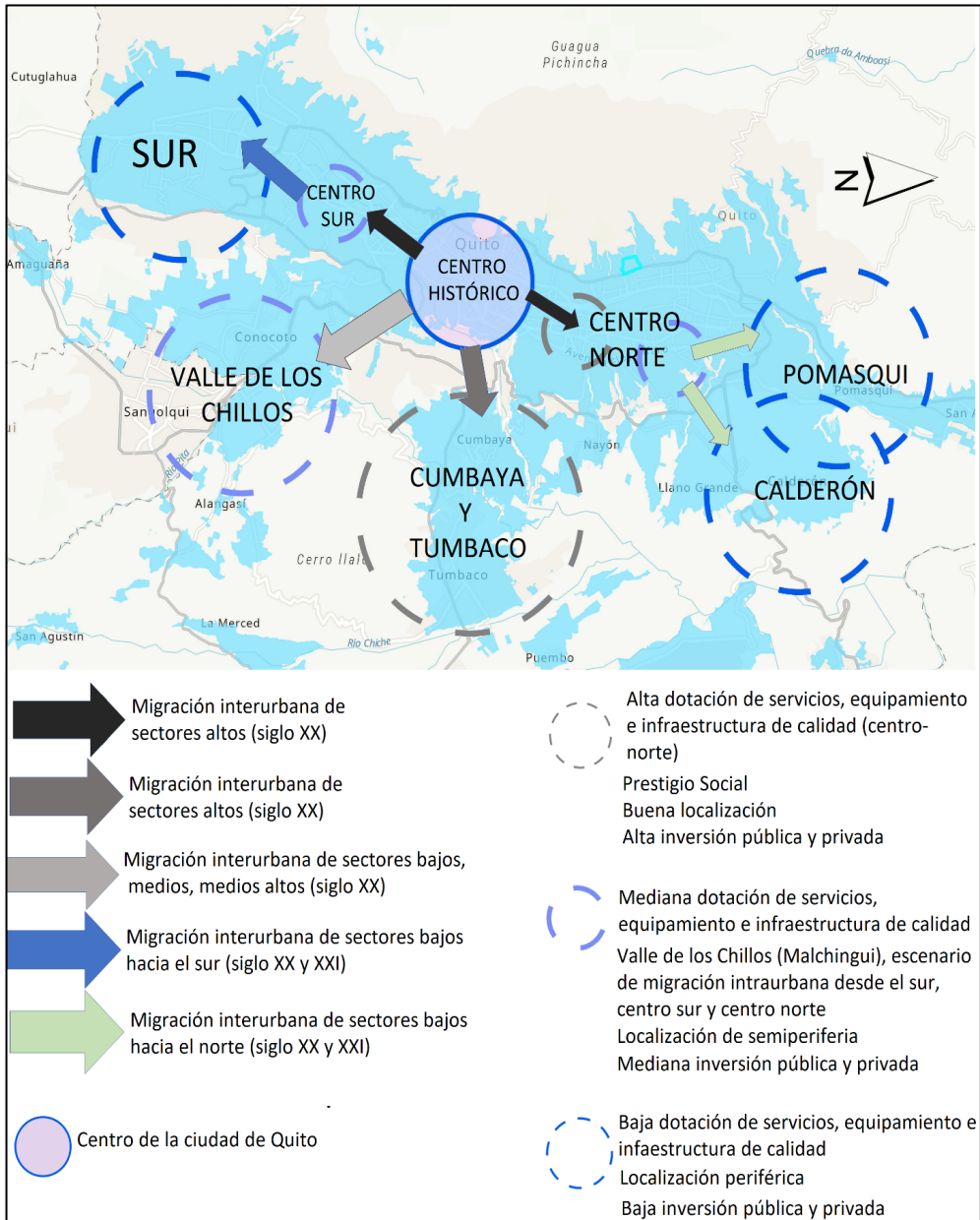


Figura 6. Proceso de Movilización Residencial

Fuente: elaboración propia a partir de Ospina, 2010.

Históricamente los problemas relacionados directamente con la morfología espacial de la ciudad son: la dotación inequitativa de servicios,

equipamientos e infraestructuras de calidad, una marcada segregación socioeconómica, fragmentación de las periferias; pero, sobre todo, la ocupación desordenada ilegal espontánea y deliberada de áreas con restricciones ambientales y sujetas a riesgos naturales que, a su vez, superan los límites urbanos establecidos.

Para Carrión (2002), el Municipio de Quito ha actuado como un facilitador de las preferencias privadas en lugar de como un ente regulador, moderador y actor del mercado del suelo; este ha operado bajo las condiciones de grandes propietarios, promotores, inversionistas y agentes inmobiliarios. La influencia del mercado privado del suelo en los procesos de planificación y en las políticas de uso y ocupación del suelo, ha generado la repartición espacial desequilibrada de la población, así como la distribución inequitativa del precio del suelo que ha heredado el Municipio de Quito y que se podría denominar como excluyente, deliberado y especulativo.

En este sentido, Jaramillo y Rosero (1996:106) analizan el mercado del suelo de Quito y afirman lo siguiente:

“...el crecimiento rápido y extensivo (de Quito), la ocupación poco racional del suelo, la constante temporal de grandes superficies vacantes sujetas a la libre operación del mercado, el grado creciente de segregación residencial urbana y el acceso diferencial del suelo, constituyen un verdadero desafío para la planificación de la ciudad. Sin embargo, la presencia de estas características afianzada e inducida por las acciones del gobierno local solo es posible por sus normativas y reglamentaciones, sobre todo, por su ausentismo en el mercado de la tierra urbana, política ratificada, año a año, por la carencia de control de herramientas o de mecanismos que encaucen las tendencias, que corrijan distorsiones y que socialicen las rentabilidades derivadas del bien suelo.”

El sector nororiental de Quito, zona con una composición social indígena, ha sido el más afectado desde el inicio de la expansión de la ciudad hasta la actualidad, principalmente por la pérdida de suelo agrícola. Así mismo, tanto la migración campo – ciudad y ciudad consolidada – periferia, como la bonanza económica alimentada en parte por las regalías petroleras, transformaron la configuración espacial de la ciudad. En el año 2000 el Municipio de Quito aprobó la creación de la empresa público-privada encargada de la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional de Quito localizado al nororiente del DMQ, acompañado de un plan de vías de interconexión entre la ciudad y el nuevo aeropuerto; esto conllevó a que entre 2006 y 2011 más del 90% de los proyectos urbanos se desarrollaran en espacios situados a menos de 1 kilómetro de las nuevas vías (Durán et al., 2016). A todo esto, se deben considerar las relaciones entre los conglomerados urbanos que rodean al DMQ, entre los cuales se establecen relaciones económicas-productivas y logísticas de bienes y servicios nacionales e importados, siendo la ciudad de Quito la que concentra los servicios administrativos, educativos, de salud y empleo a nivel regional y nacional. La conurbación con los cantones y provincias más cercanas ha generado corredores urbanos conectados principalmente por la vía Panamericana, tanto al norte como al sur del DMQ (Figura 7). Este grupo formado en su mayoría por los cantones Alóag y Mejía al sur y Pedro Moncayo y Cayambe al norte, suman 2.525.345 habitantes, de los cuales el 90% residen en el DMQ.

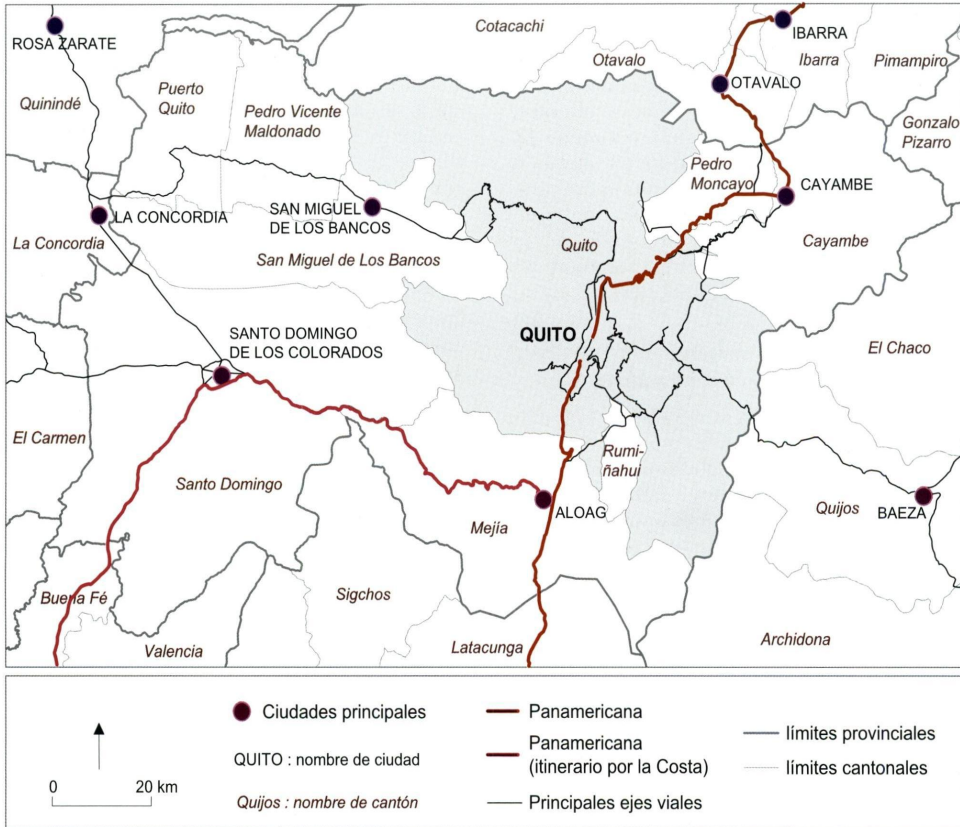


Figura 7. Corredores urbanos generados por la conurbación de Cantones aledaños al DMQ. Red vial principal de la provincia de Pichincha y del Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: imagen tomada del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador.

Con respecto a la ocupación espacial del suelo del DMQ, según cifras del Censo de 1990, existían 353.595 unidades de vivienda, de estas, el 81% pertenecían al área urbana; para el año 2001 el incremento de unidades de viviendas en todo el DMQ fue del 58%, tal crecimiento reflejó un incremento del 49% en el área urbana y el 101% en el área rural.

Según Scholz et al. (2015) en el Informe Nacional del Ecuador – Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible Hábitat III (2015:7), “a nivel mundial la ciudad y la

ciudad región se está desarrollando siguiendo patrones de desarrollo de baja densidad”. En el periodo 2001 – 2010, las ciudades Metrópoli (Quito es una de ellas) se expanden de una manera descontrolada hacia las periferias, además, tienen un porcentaje de crecimiento del área amanzanada que supera el porcentaje de crecimiento poblacional. Esto significa que la expansión se dirige hacia las periferias con patrones de baja densidad que resultan del todo insostenibles (Figura 8).

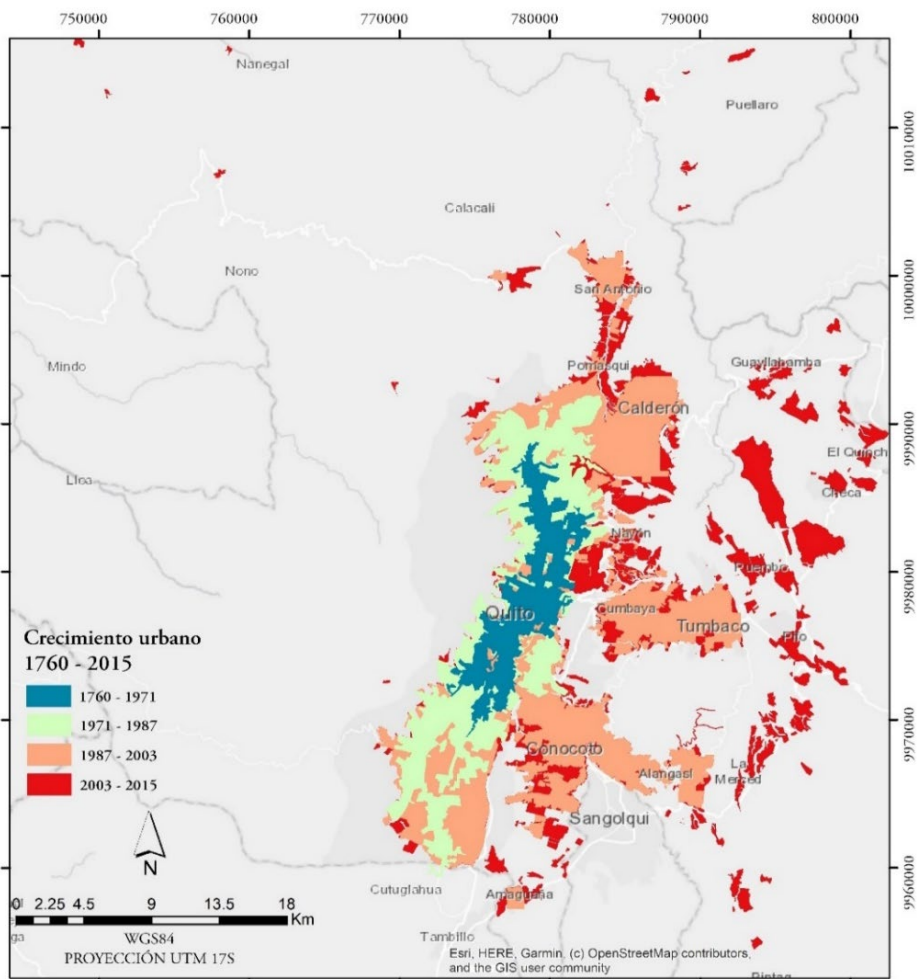


Figura 8. Crecimiento de la mancha urbana DMQ, 1760-2015.

Fuente: elaboración propia a partir de información espacial del gobierno abierto del DMQ.

En la Tabla 2, se evidencia el consumo del suelo de la ocupación espacial de la mancha urbana, el crecimiento hasta el año 2015 fue exponencial; significando una expansión de 39.921,82 Ha. en 44 años, desde 1971 hasta 2015.

Tabla 2. Evolución del crecimiento de la mancha urbana de Quito

Periodo	Área Urbana (Ha)	Área Crecimiento Urbano (Ha)	% de Crecimiento
1971	5.026,33	0,00	
1971-1987	14.840,63	9.814,30	66,00
1987-2003	32.767,34	17.926,70	55,00
2003-2015	44.948,15	12.180,81	27,00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Secretaría Técnica de Hábitat y Vivienda del DMQ.

El ritmo acelerado de propagación de la mancha urbana se ha frenado significativamente después del año 2000, principalmente porque la ciudad ha copado prácticamente el territorio habitable (sobre todo hacia oriente y occidente), no obstante, la expansión continúa hacia el norte y sur de la urbe. El consumo de suelo sigue siendo agresivo, tomándose incluso cauces naturales (relleno de quebradas) para asentamiento urbanos. En las parroquias más cercanas a la ciudad de Quito se pueden observar todavía los rezagos de los cultivos tradicionales siendo reemplazados por nuevos asentamientos e infraestructura urbana en general (vías de comunicación).

El crecimiento de las periferias de Quito se caracteriza por la ocupación informal del suelo, sobre todo en las zonas de expansión como los sectores conocidos de Calderón, La Delicia y Quitumbe pertenecientes a las zonas administrativas que llevan los mismos nombres (Figura 9). Según el

diagnóstico estratégico – Eje Territorial (DMQ, 2015) los procesos de regularización de asentamientos se ven afectados por la incapacidad institucional para gestionar, acompañar y apoyar a los barrios en el procedimiento de regulación, además, no existen procesos y flujos claros para resolver los problemas técnicos, legales y organizativos; estos problemas aparecen acompañados de una normativa jurídica que impide aprobar los fraccionamientos y realizar expropiaciones especiales con fines de regularizar. De esta manera, el crecimiento y ocupación del territorio se realiza de forma espontánea, superando la capacidad de planificación del Municipio.

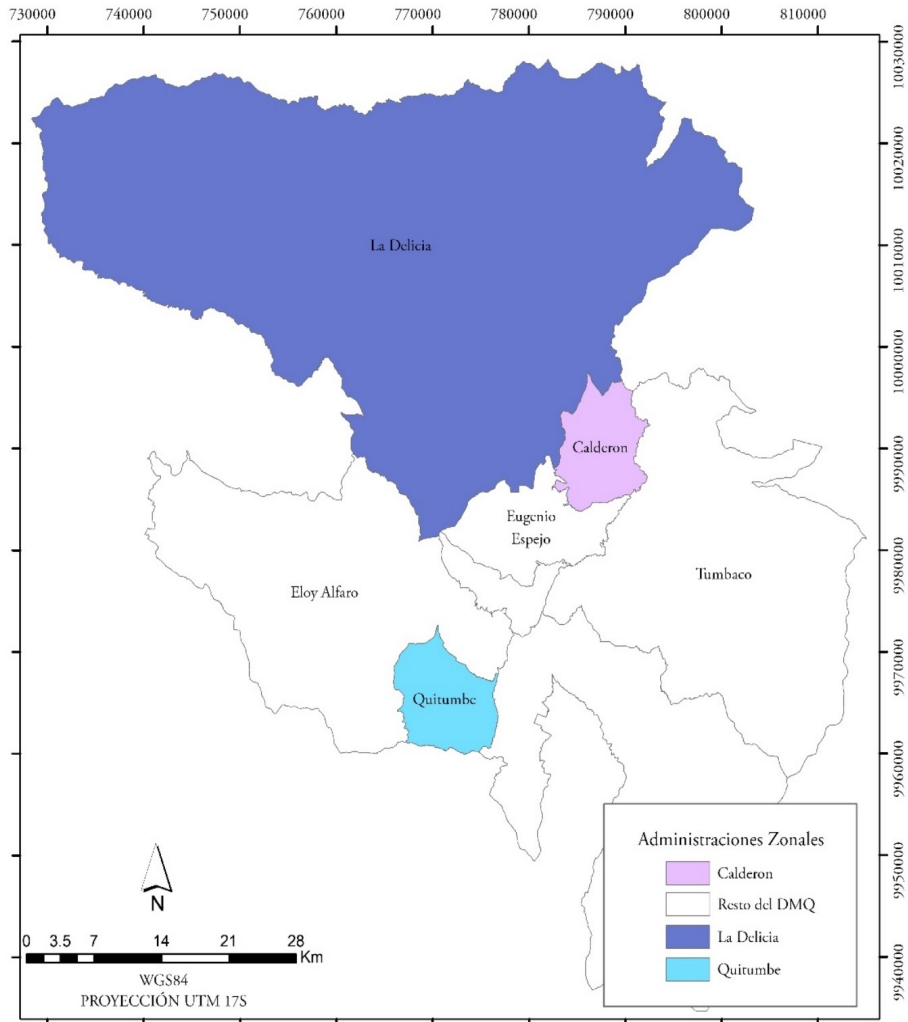


Figura 9. Zonas Administrativas del DMQ.

Fuente: elaboración propia a partir de información espacial del Gobierno Abierto del DMQ.

Entre las causas más representativas de crecimiento urbano desmedido que supera la capacidad de planificación del Municipio, se encuentran:

“Los mercados informales (ilegales) del suelo, caracterizados por complejos mecanismos de producción de tierra urbana y lotización, sin infraestructura de servicios;

La Auto-ocupación organizada para evitar el cumplimiento de normas técnicas, y;

La propiedad colectiva de la tierra (derechos y acciones, escrituras globales, herencias)” (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014:66).

En contraste a los problemas presentados anteriormente, dentro del Diagnóstico del Territorio del DMQ se establece la posibilidad de dar acomodo a la población en asentamientos no regularizados, pero con procesos de urbanización regulados:

“Existe una gran cantidad de suelo urbano en Quito en proceso de urbanización, y que podría acomodar buena parte de la población que decide instalarse en asentamientos no regularizados con procesos de urbanización regulados que podrían ser incentivados mediante políticas productivas, fiscales y sociales, que permitieran acelerar los movimientos poblacionales hacia aquellas zonas propicias para el desarrollo de establecimientos urbanos.” (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014:68).

Uno de los ejes de actuación que el DMQ ha adoptado para generar compacidad urbana y frenar las actividades invasivas por ocupación del suelo, es el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT). El DOT es un concepto que nace en Estados Unidos de América en los años 90, sin embargo, el desarrollo orientado al transporte en las ciudades es anterior a su aparición. De hecho, las ciudades norteamericanas siguieron este patrón de crecimiento hasta los años 50 y un gran número de ciudades europeas ha mantenido este modelo hasta la actualidad. El DMQ siguiendo este enfoque interviene con las siguientes estrategias:

- La Nueva Agenda Urbana aprobada en Quito se refiere en múltiples ocasiones a las necesidades relativas de generar compacidad, es decir: promover políticas de vivienda integrada, evitar viviendas de masas

periféricas y aisladas, planificar para la provisión de infraestructura y servicios accesibles y bien comunicados, entre otras. Esto hace de la ciudad de Quito un referente a nivel global en relación a la generación de compacidad urbana.

- Así también, el Objetivo Número 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2021) establece como una de las metas a cumplir la siguiente: asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos y mejorar los barrios marginales.
- De forma similar, el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial (MDMQ, 2012) enuncia como uno de sus objetivos el establecer un sistema de subcentralidades de equipamientos de servicios sociales de las zonas urbanas del DMQ.

Claramente el crecimiento demográfico exorbitante de Quito, así como las migraciones provenientes principalmente de las centralidades que rodean al DMQ, provocan la expansión espacial desmedida poco densificada de asentamientos amanzanados. Estos asentamientos carecen de servicios e infraestructura pública y superan a las herramientas de planificación urbana que el Municipio de Quito mantiene.

La Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ por sus siglas en alemán) coincide que Ecuador experimenta un rápido crecimiento de las ciudades, sobre todo de las de tamaño medio. Además, no cuenta con enfoques de planificación urbana sostenible que permitan gestionar correctamente la migración a las ciudades desde las zonas circundantes; reduciendo las superficies cultivables y perjudicando al medio ambiente (GIZ, 2018).

Por todo lo antes mencionado, es necesario tomar en cuenta los cambios en la clasificación del suelo del DMQ dadas las drásticas alteraciones que se

han producido en la realidad. Un reportaje de Alarcón (2016) publicado en el Grupo EL COMERCIO de Quito, muestra de manera general las discusiones que avalan las consideraciones elegidas como un problema dentro de este estudio. Por ejemplo, en el reportaje se mencionan propuestas de cambio al Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) y entre las más importantes se encuentran:

- Incorporación de dos nuevos usos: Residencial Rural 1, que abarca terrenos que están cercanos a las zonas urbanas, tienen origen en fincas vacacionales o villas en sitios como Tumbaco, Puembo, Yaruquí, Puéllaro y Atahualpa; y Residencial Rural 2 que agrupa asentamientos históricos que han ido creciendo espontáneamente, sin una trama vial definida en zonas como Pacto, Nanegal, Calderón y Gualea. Estos dos nuevos usos, Residencial Rural 1 y 2, permitirán áreas destinadas a viviendas en el área rural que abarcan terrenos cercanos a las zonas urbanas. También se propone regularizar asentamientos históricos que han crecido esporádicamente sin trama vial definida en las parroquias rurales, una de ellas es Calderón (zona de estudio de este proyecto) para frenar las manchas urbanas dentro de zona rural y la fragmentación de esta última. Con esta incorporación se admite que lo rural puede tener tejidos residenciales, aunque se encuentre aislado de la ciudad, y permite reconocer lotes de 200 y 300 m² de superficie.
- En zonas como Calderón el tamaño mínimo de un lote es de 300 m², pero existen terrenos con una superficie de 1.000 m². Al rebajar la zonificación mínima permitida los predios más grandes deben pagar esta compensación porque van a poder lucrarse. Lo que significaría más oportunidades de asentamientos en la parroquia al permitirse el loteamiento de parcelas de tamaño menor.

La ordenanza número OT-001-2019-PUOS, aprobada en la última actualización del PUOS del DMQ considerado en este trabajo, refleja cambios provocados evidentemente por los asentamientos. En el documento se puede observar la tendencia a favorecer regulaciones de formaciones urbanas incluso en casos donde se han producido cambios drásticos, por ejemplo: habilitar pasar de un uso de Protección Ecológico/Conservación Patrimonio Natural en clasificación rural a un uso Residencial también en clasificación rural. Si bien es cierto que los casos de cambios de clasificación de usos en su mayoría son puntuales y tienen la intención de regular los usos del suelo no concordantes con la normativa vigente, abren una ventana para la proliferación justificada de otros casos.

Por último, hay que remarcar que todas las proyecciones que estiman el crecimiento futuro se han reflejado en estadísticas numéricas, sin embargo, no se ha encontrado proyecciones geográficas o espaciales de la futura ocupación del suelo dentro de la información publicada del DMQ.

CAPÍTULO 3

3. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO.

Después de comprobar el crecimiento de la ciudad de Quito, motivado por diferentes factores que han desbordado los límites de la ciudad hacia sus periferias, y con el afán de aplicar métodos y técnicas geográficas que brinden más elementos de juicio que apoyen a la planificación y sostenibilidad de las ciudades, se plantean tres preguntas de investigación, una hipótesis y los objetivos que tratan de validar o refutar la misma.

3.1. Preguntas de investigación

La problemática que se ha planteado previamente suscita algunas preguntas de investigación que este estudio pretende contestar. Previamente a estas preguntas, es necesario establecer los intereses de la investigación que se articulan en tres ejes: (1) los tipos de herramientas y metodologías que aplican las instituciones competentes de cada ciudad y localidad para caracterizar el crecimiento urbano, (2) las variables que determinan tal crecimiento y (3) las técnicas geográficas para modelar el fenómeno analizado.

De cierta forma, resulta en un común denominador el proceso de crecimiento urbano en las ciudades y localidades de Ecuador, donde las tasas de crecimiento demográfico son altas, acompañadas de una ocupación espacial insostenible con un consumo de suelo desordenado y desmedido. En la actualidad (2022), este fenómeno merece ser revisado y estudiado dentro de un marco de desarrollo y sostenibilidad. Desde esta perspectiva se plantea la

siguiente pregunta: ¿Las ciudades ecuatorianas miden el proceso de expansión urbana para su planificación y sostenibilidad?

Sin bien es cierto que la información censal es utilizada de manera prioritaria por las ciudades, algunas administraciones cuentan con instituciones que gestionan información propia sobre su población y crecimiento; además, generan variables específicas para explicar los diferentes comportamientos de la ocupación periférica de cada localidad. En este sentido, la segunda pregunta de esta investigación se orienta hacia, ¿Cuáles son las principales variables y condiciones que definen el comportamiento espacial de los asentamientos periurbanos irregulares en el área de estudio? Sin embargo, la evaluación de los factores que estimulan las diferentes formas de crecimiento deja a un lado el análisis espacial de la ocupación del territorio, y no es muy frecuente encontrar entre los estudios pronósticos espaciales del crecimiento periurbano de cada ciudad. Por esta razón, se plantea la siguiente pregunta complementaria: ¿Qué técnicas [espaciales] existen para modelar el crecimiento urbano?

Las preguntas de investigación se han resuelto a lo largo de los apartados de esta tesis tal y como queda reflejado en la Tabla 3.

Tabla 3. Apartados donde se resuelven las preguntas de investigación

Preguntas de Investigación	Se resuelven en los apartados:
1 ¿Las ciudades ecuatorianas miden el proceso de expansión urbana para su planificación y sostenibilidad?	4.2.1. La expansión de las ciudades ecuatorianas y los métodos para su medición. 4.2.2. La ciudad de Quito y su expansión
2 ¿Cuáles son las principales variables y condiciones que definen el comportamiento espacial de los asentamientos periurbanos irregulares en el área de estudio?	5.4.1. Procesos urbanos con Autómatas Celulares: casos de estudio. 6.3. Consideraciones y generación de la información de partida. 8.2. Factores determinantes en la probabilidad del crecimiento urbano
3 ¿Qué técnicas [espaciales] existen para modelar el crecimiento urbano?	5.2.2. Métodos espaciales de tendencia para estudios del análisis urbano 5.4.1. Procesos urbanos con Autómatas Celulares: casos de estudio

Fuente: elaboración propia.

3.2. Hipótesis.

En las últimas dos décadas la ciudad de Quito ha experimentado un crecimiento espacial urbano intenso y agresivo desarrollado especialmente en las periferias urbanas que, poco a poco, ha desarmado las políticas y planes de ordenamiento territorial de la región metropolitana de esta ciudad, obligando a considerar elementos y metodologías espaciales para estudiar este fenómeno.

- Por lo tanto, se plantea como hipótesis que: *los análisis espaciales multivariados complementados con la metodología de Autómatas Celulares enmarcados en un sistema de información geográfica son capaces de generar modelos predictivos eficaces que ayudan a entender, monitorear y controlar la densificación urbana en las periferias de las ciudades, y, consecuentemente, la expansión urbana.*

3.3. Objetivos.

Esta tesis tiene como objetivo general *generar un modelo de predicción geográfico basado en autómatas celulares que permita pronosticar los posibles asentamientos futuros (año 2050) en las zonas periféricas críticas de la ciudad de Quito, tomando como caso de estudio la periferia norte de la parroquia de Calderón.*

Entre los subobjetivos o las principales actividades que demanda el proyecto se encuentran las siguientes:

- El subobjetivo 1 se plantea recopilar, analizar y procesar información base e imágenes satelitales históricas del área de estudio (2003, 2014 y 2018). Este hito inicial preparará la información para introducirla en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el fin de consolidar las imágenes satelitales correspondientes a la serie temporal y a las variables que incentivarían el supuesto crecimiento.
- El segundo hito corresponde al análisis y discriminación de información con base en trabajos de similar naturaleza realizados en diferentes regiones del mundo; en criterios de expertos, en datos demográficos, en indicadores y en experiencias tradicionales del sector. Así, el subobjetivo 2 se concreta en identificar las variables que contribuyen a la expansión de los asentamientos en la zona de estudio.
- Para el tercer hito se aplicará la técnica de Autómatas Celulares (AC) con la finalidad de generar un modelo geográfico predictivo del crecimiento urbano en la periferia del norte de Calderón con escenarios proyectados de hasta 32 años luego de la base temporal del estudio, 2018 (subobjetivo 3). La técnica AC, a criterio personal, es una técnica basada en celdas que autónomamente cambian su estado según reglas establecidas; estas celdas se asemejan a los píxeles en una imagen ráster

que contiene información geográfica y pueden evolucionar siguiendo patrones determinados. Por lo que el método se ajusta bien al tipo de información utilizado en este proyecto.

- El cuarto hito valida los modelos generados a través de la comparación con información real disponible del año 2018 versus la generada (simulada) por el modelo en la misma época, 2018. De este modo, el subobjetivo 4 se plantea verificar del grado de predicción del modelo, dato que define si este deberá ser calibrado con nuevas variables geográficas o si se han de eliminar algunas de las consideradas.
- Por último, una vez demostrada la fiabilidad del modelo, se construyen las proyecciones de los 32 años posteriores al periodo estudiado (año 2018) generando los pronósticos anuales hasta el año 2050 (subobjetivo 5).

3.4. Área de estudio.

La división política administrativa del Ecuador se estructura en 24 provincias, conformadas cada una por cantones y estos, a su vez, por parroquias. La Provincia de Pichincha, ubicada en el centro norte del País, alberga al DMQ (Figura 10). En extensión territorial es la undécima de las provincias del país, con 9.494 km²; limita al norte con las provincias de Imbabura y Sucumbíos (oriente), al sur con la Provincia de Cotopaxi, al este con la Provincia de Napo, al oeste con Santo Domingo de los Tsáchilas y al noroeste con la Provincia de Esmeraldas.

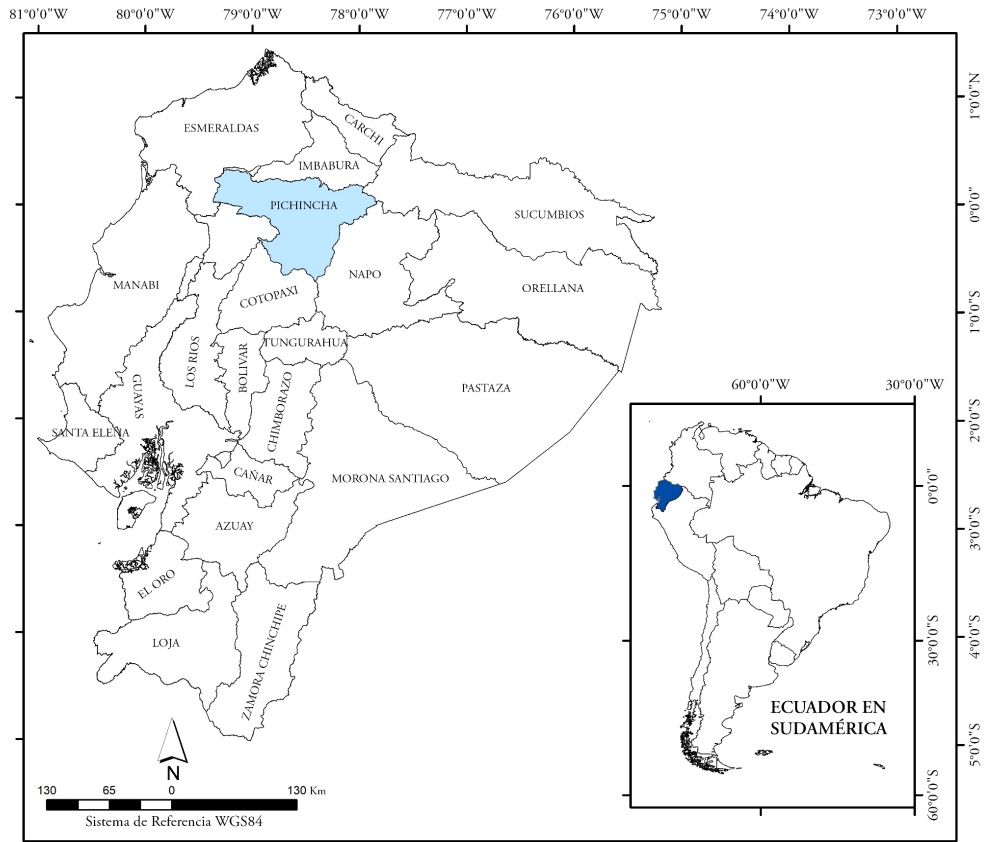


Figura 10. Ubicación de la provincia de Pichincha en el Ecuador continental.

Fuente: elaboración propia tomando información espacial del gobierno abierto del DMQ.

El DMQ es uno de los principales nodos del sistema de centralidades en el Ecuador y se circunscribe dentro de la provincia de Pichincha, ocupando el 44,6% de este territorio (Figura 11). Desde 2008, con la nueva promulgación de la Constitución del Ecuador, se crea una nueva tipología de unidad territorial con fines de planificación estratégica, dividiendo al Ecuador en nueve Regiones Autónomas (zonas de planificación) y dos distritos metropolitanos autónomos, uno de ellos es el DMQ (zona 9) (Figura 12).

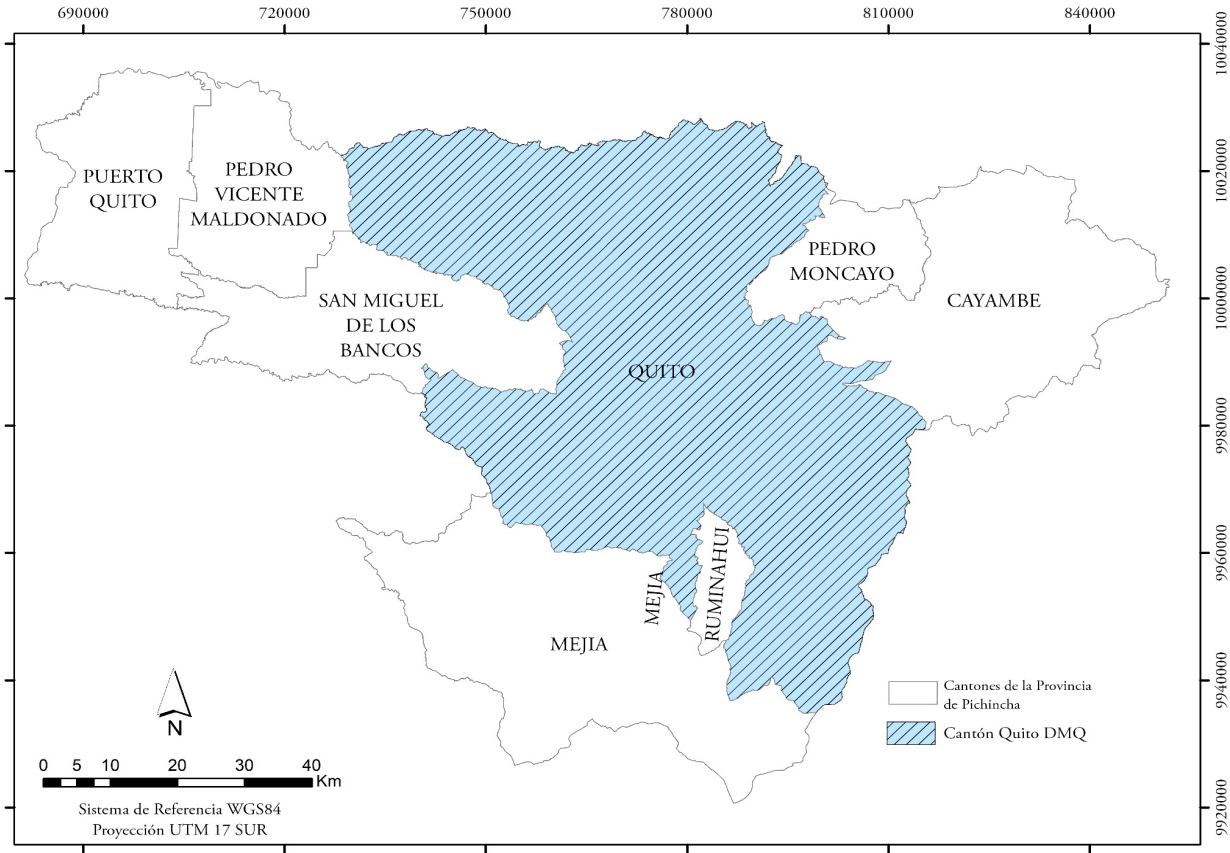


Figura 11. Ubicación del DMQ en la Provincia de Pichincha.

Fuente: elaboración propia tomando información espacial del gobierno abierto del DMQ.

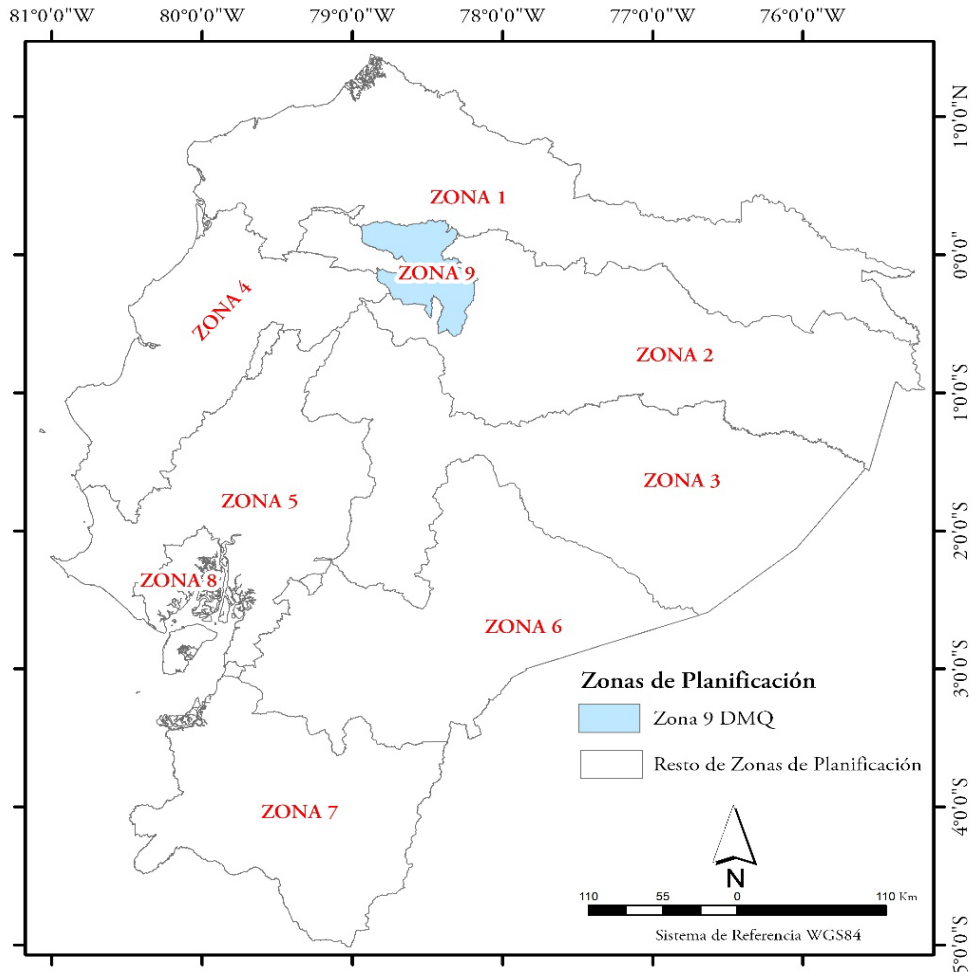


Figura 12. Ubicación del DMQ con otras Regiones Autónomas del Ecuador (zonas de planificación nacional).

Fuente: elaboración propia tomando información espacial del gobierno abierto del DMQ.

El DMQ cuenta con ocho administraciones zonales (Figura 13) que contienen a 32 parroquias urbanas que conforman la ciudad consolidada de Quito y 33 parroquias rurales y suburbanas (Figura 14). El área de estudio de esta investigación se concentra en el norte de la Parroquia suburbana de Calderón, circunscrita dentro de la administración zonal que lleva el mismo nombre.

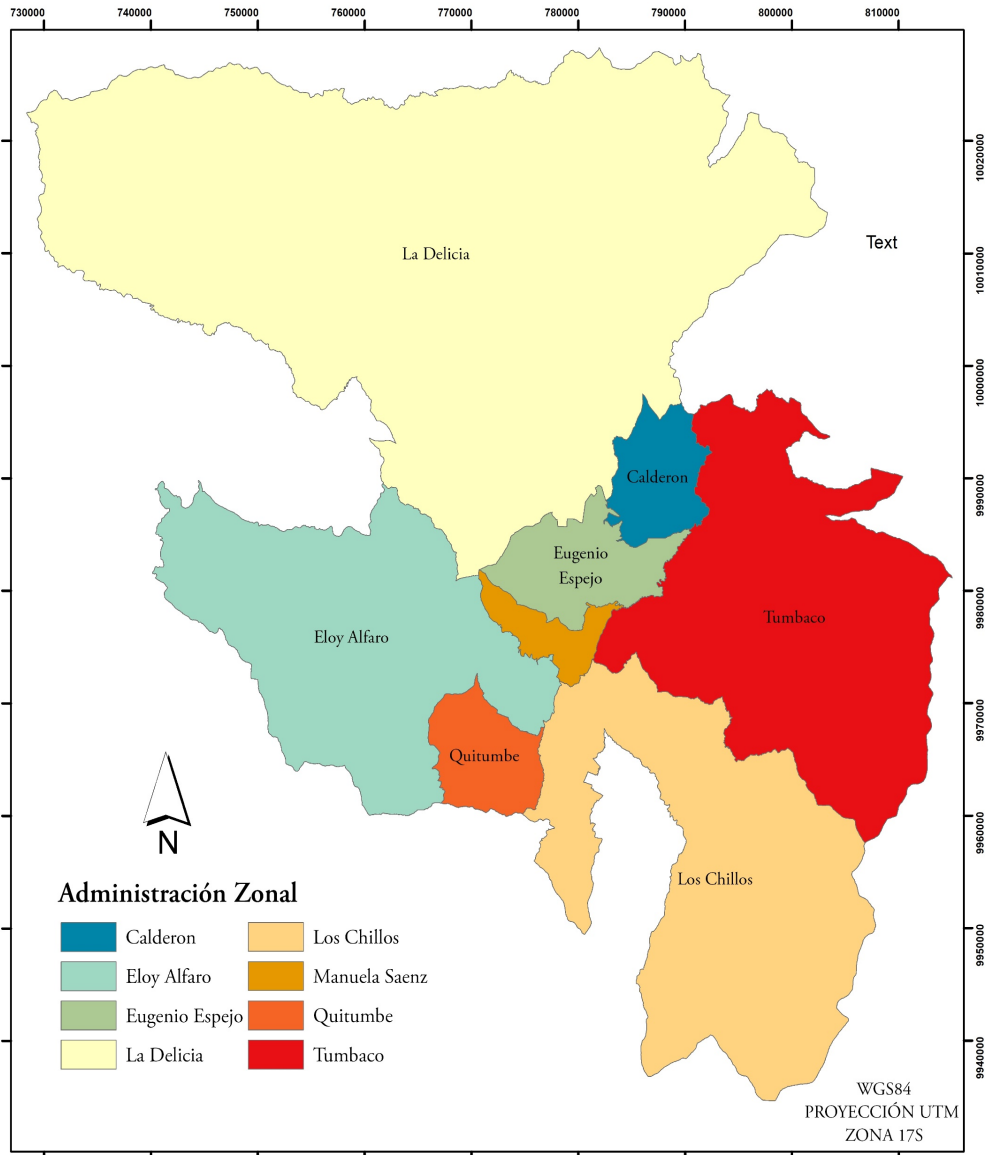
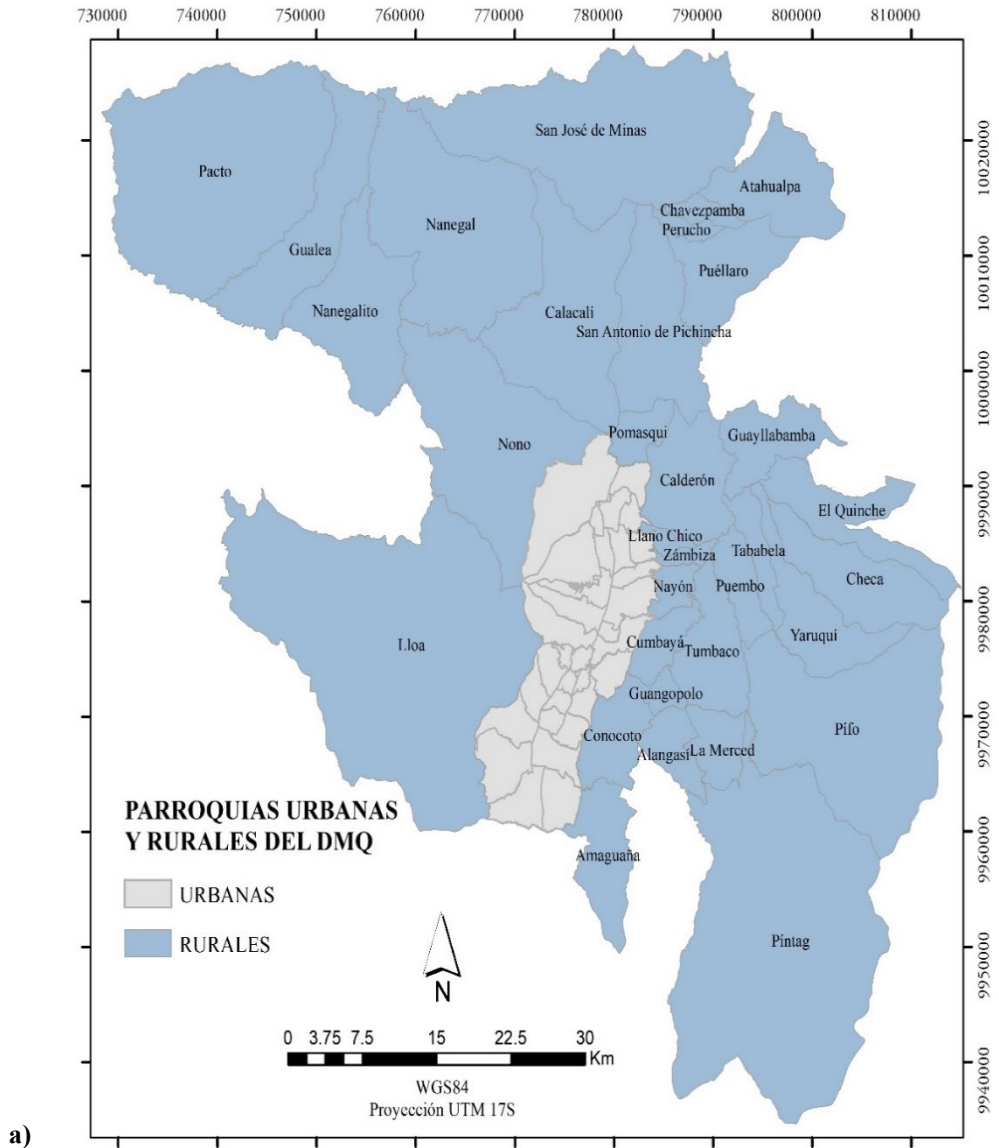


Figura 13. Administraciones Zonales del DMQ.

Fuente: elaboración propia tomando información espacial del gobierno abierto del DMQ.



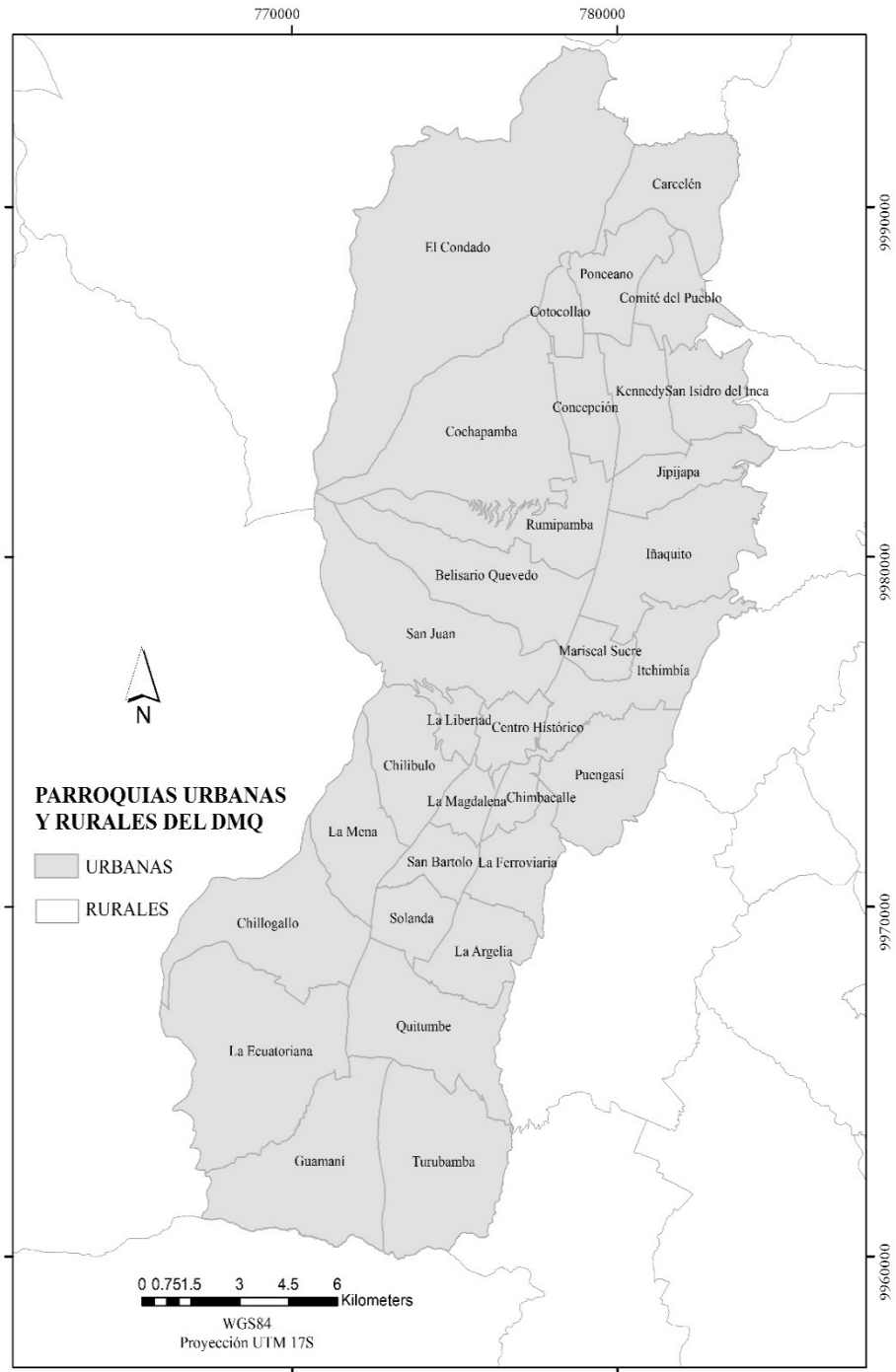


Figura 14. Parroquias rurales del DMQ (a) y parroquias urbanas del DMQ (b).

Fuente: elaboración propia tomando información espacial del gobierno abierto del DMQ.

La parroquia de Calderón, ubicada en el extremo nororiental de la ciudad, estaba formada antes de los años 30 por haciendas y quintas bajo un sistema hacendatario. Desde el año 1982 experimenta un crecimiento de expansión urbana que supera considerablemente las cifras del resto de parroquias suburbanas y rurales del DMQ. Esta parroquia cambia drásticamente el patrón de crecimiento hasta el punto que, en el censo de 1990, se registra un total de 36.297 habitantes, esto significa un incremento en valores absolutos de 18.238 personas lo que representa el 101% de crecimiento (un 8% anual). Durante los años siguientes, este comportamiento poblacional no solo se mantiene, sino que sobrepasa lo esperado, tal es así que en el año 2001 la población alcanza una cifra fenomenal de 84.848 habitantes, lo que representa un incremento de 133% en relación al año 1990. Ello significó un aumento de 48.551 habitantes que, en términos de tasas de crecimiento anual y en los dos últimos períodos censales, supuso un incremento de 7,7 %, dato considerado como el más alto observado en el DMQ, en la Tabla 4 se exponen las parroquias más cercanas a la ciudad con las mayores tasas de crecimiento demográfico en el DMQ en el último periodo censal (2000 – 2010). Tal es así que Calderón se encuentra entre las parroquias con mayor incremento del número de habitantes con respecto al DMQ (Durán et al., 2016) y se ha convertido en uno de los polos de desarrollo, donde puede crecer y expandirse la ciudad capital.

Tabla 4. Crecimiento demográfico de las parroquias suburbanas – rurales (2000 – 2010).

Parroquia	Porcentaje de expansión
Calderón	6,58
San Antonio	5,60
Nayón	5,46
Conocoto	4,95
Cumbayá	4,55
Pomasqui	3,98

Fuente: diagnóstico salud del DMQ, 2017

Esta parroquia se ha considerado una periferia popular, en donde abunda la informalidad de las construcciones residenciales, sin embargo, la localidad se ha convertido en una zona de interés y foco de desarrollo del sector privado y público. La construcción de la Panamericana Norte, vía que conecta ciudades y países de la región y que atraviesa la parroquia, ha resultado un imán para los asentamientos de los habitantes con mayores recursos, quienes se localizan a lo largo de las orillas de la vía en forma lineal, mientras que los menos afortunados lo hacen en las periferias. Como consecuencia, se produce una fragmentación espacial y segregación social de la parroquia. Tal y como se ha mencionado, la Panamericana Norte es una de las vías que conecta de forma más directa el centro de la ciudad (económico y administrativo) con la periferia, por lo que progresivamente la dinámica urbana de las periferias se va incorporando al centro, produciendo una conurbación muy rápida entre Calderón y el norte de la ciudad de Quito.

El sector de la parroquia de Calderón inicialmente fue pensado para consolidar una zona industrial acompañada de un área de vivienda pública destinada a los trabajadores provenientes de zonas rurales, idea que no prosperó debido a que en la década entre 1990 y 2000, la ampliación de la Panamericana Norte y la especulación de precios del suelo debido a la

dolarización aceleraron los procesos de urbanización fomentados principalmente por las empresas inmobiliarias.

La migración hacia la parroquia se puede clasificar en dos categorías, por un lado, surge la ruralidad serrana y costeña a través del asentamiento ilegal e inquilinato; por otro, se produce la llegada de nuevas clases medias que se desplazan desde el centro hacia la periferia por la facilidad de créditos y acceso a la vivienda. Esta avalancha de clases medias se impone con una particular forma de construcción, las urbanizaciones cerradas conformadas por entre 10 y 50 viviendas, dejando atrás el estilo de vida barrial típico de las zonas rurales (Figura 15).





c)



d)

Figura 15. Urbanizaciones cerradas conformadas entre 10 y 50 viviendas.

Se expone los conjuntos habitacionales (urbanizaciones cerradas), tendencia de construcción en la zona de estudio, en diferentes etapas: a) y b) por construirse (en promoción), c) en proceso de construcción y d) habitadas. Las fotografías corresponden a la parte sur de la zona de estudio.

Fuente: elaboración propia (2021).

En los últimos 10 años la fuerte inversión del gobierno central en salud, educación y seguridad, junto con la gran cantidad de suelo disponible a relativamente bajo costo y la decadencia de la agricultura, han hecho que el suelo en este sector sea muy apreciado y valorado, lo que ha provocado una nueva avalancha de población y el consecuente desarrollo urbano.

En los últimos cinco años, el crecimiento urbano del DMQ ha experimentado una relativa pausa en la continua expansión de su mancha urbana, probablemente debido a las limitaciones geográficas, restricciones exclusivas por parte del Municipio, o a la crisis económica que atraviesa el país (2021 – 2022). No obstante, las parroquias suburbanas continúan creciendo de forma expansiva cubriendo áreas cada vez más alejadas de los lugares de urbanización concentrada. La atención prestada a este fenómeno en el marco de la planificación del DMQ para atender las necesidades de servicios de la ciudadanía, depende muy íntimamente del crecimiento histórico y de su proyección en años venideros, además de la consolidación de nuevos asentamientos, que en un futuro cercano deberán ser atendidos por parte del gobierno local.

Debido a la dinámica de crecimiento continuo de las parroquias suburbanas, la presente tesis se ha concentrado en analizar el extremo norte de la parroquia de Calderón (Figura 16), donde actualmente se encuentra la periferia que, según los datos expuestos en la Tabla 4, es la más dinámica en la ciudad. Este hecho se ve favorecido por la topografía plana y regular, pero sobre todo, por la reactivación del mercado inmobiliario en el año 2018, por las normativas de usos y ocupación del suelo de la zona aprobadas por el municipio de la ciudad y por la proliferación de servicios anexos a la vivienda como son el acceso a internet, la cobertura del servicio de

transporte público, la cobertura de servicios básicos, la creación de caminos aptos para rodajes pesado y el abandono de la agricultura, entre otros.

Esta periferia de la ciudad de Quito se encuentra en plena expansión y proliferan asentamientos con construcción civil de tipo residencial, reemplazando las actividades de agricultura e industria que hasta hace diez años eran las dominantes en el sector (Figura 17). Esta es la zona donde se ejecutarán las simulaciones de crecimiento urbano o expansión urbana a partir de asentamientos civiles. Su superficie total es de aproximadamente 52 kilómetros cuadrados.

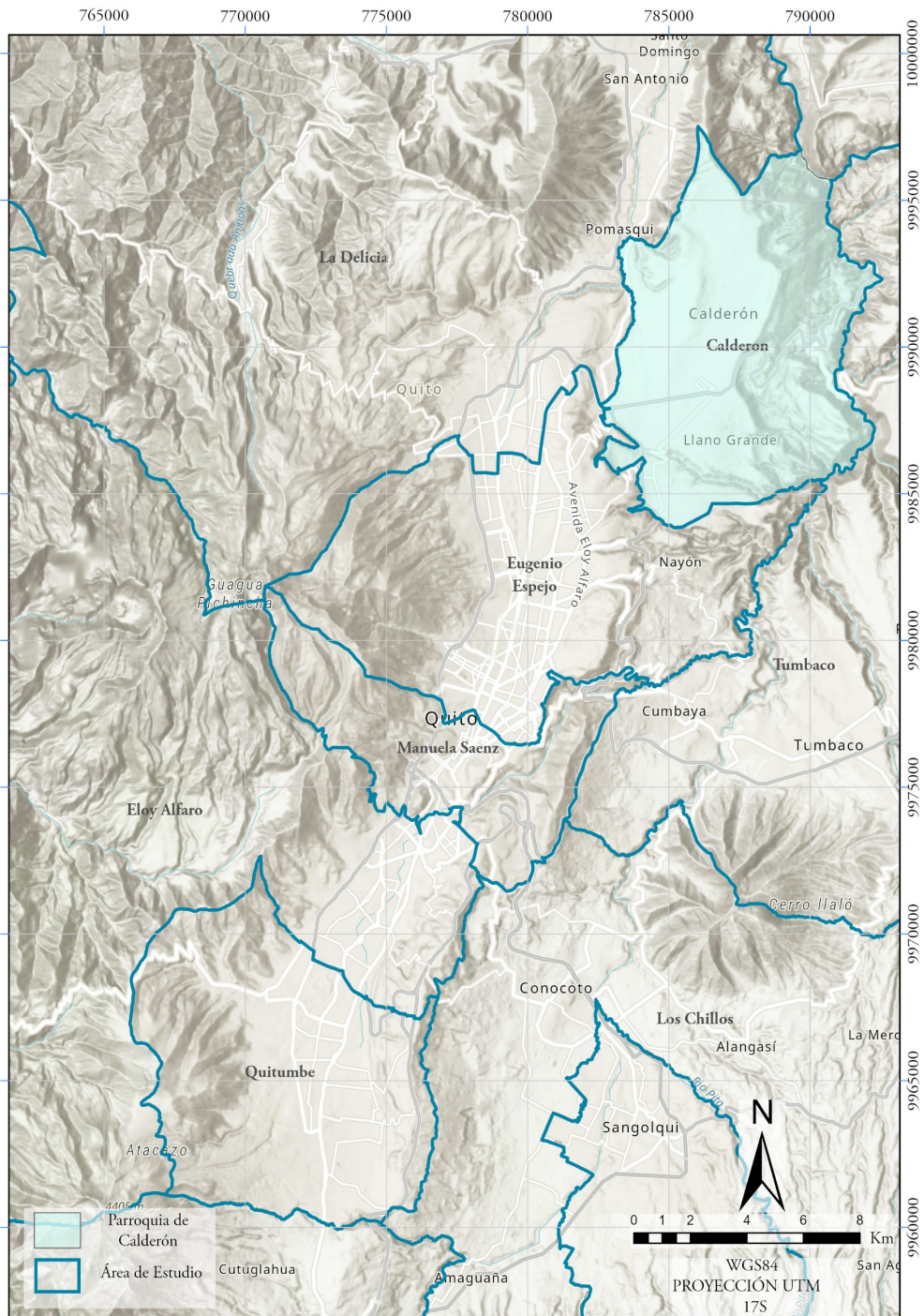


Figura 16. Ubicación del área de estudio, norte de la parroquia de Calderón, DMQ.

Fuente: elaboración propia a partir de ESRI, OpenStreetMap.

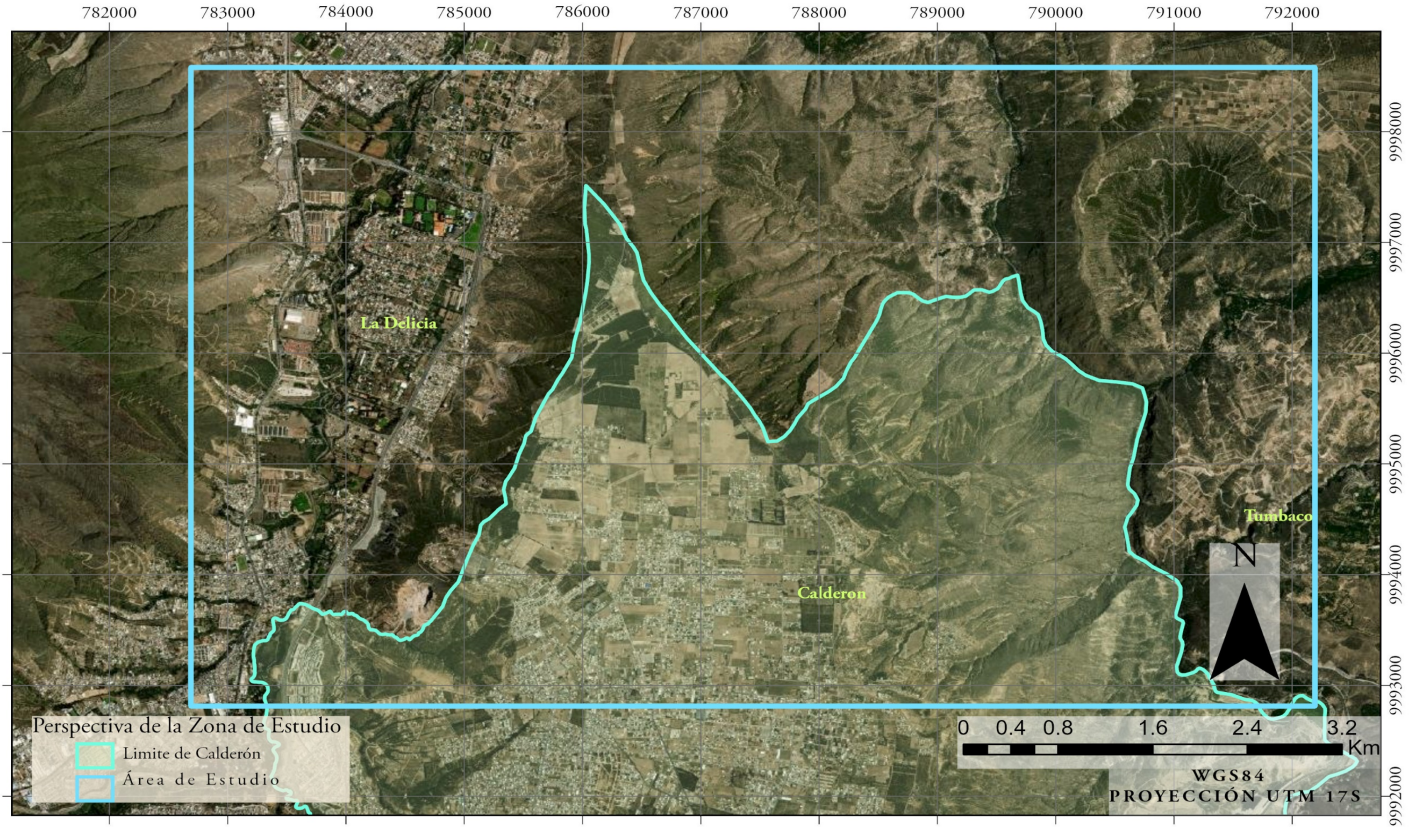


Figura 17. Imagen Satelital en perspectiva de la zona de estudio (azul claro) y del extremo norte de la parroquia de Calderón (azul más intenso).

Fuente: elaboración propia a partir de información de Google Earth.

El Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) del DMQ, gestionado por la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, estructura la admisibilidad de usos y la edificabilidad mediante la fijación de los parámetros y normas específicas para el uso, ocupación, habilitación del suelo y edificabilidad. La zona de estudio ha experimentado varios cambios importantes: el primero en el año 2010, asignando a esta área el uso de residencial rural; el segundo en el año 2016, calificando la zona como uso residencial urbano; y, en el año 2018, se registra oficialmente que la zona tiene como uso vigente el de “equipamiento de zona rural”. Es importante tomar en cuenta los cambios en el uso de suelo de toda la parroquia de Calderón en los periodos más relevantes como parte de la caracterización de la zona de estudio, la Tabla 5 y la Tabla 6, muestran los porcentajes y cantidad de superficie (hectáreas) de cada clase de uso en el periodo 2005 y 2015.

Tabla 5. Usos de suelo de la parroquia Calderón años 2005 y 2015.

Uso	Código	2005		2015	
		área (ha) – %		área (ha) – %	
Agrícola residencial	AR	946	12	225	3
Equipamiento	E	154	2	439	6
Industrial	I	79	1	103	1
Múltiple	M	154	2	142	2
Protección ecológica	PE	2.890	37	1.850	23
Residencial	R	2.287	29	3.058	39
Recurso natural	RN	1.379	17	2.072	26
Total		7.889	100	7.889	100

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría Técnica de Hábitat y Vivienda del DMQ.

A nivel general, en el DMQ el uso de suelo agrícola ha sido el más consumido principalmente por zonas residenciales tanto urbanas como rurales (R). Los usos de protección ecológica, los cuales no debían ser

transformados, también se ven mermados por zonas residenciales urbanas o rurales (R) y en porcentajes mínimos han sido transformados a “Recurso natural” (RN).

Tabla 6. Matriz de cambio de usos de suelo (ha.), parroquia de Calderón 2005 – 2015.

(ha)	AR (2015)	E (2015)	I (2015)	M (2015)	PE (2015)	R (2015)	RN (2015)	Total
AR (2005)	184	8	0	0	8	741	5	946
E (2005)	1	132	0	1	2	18	0	154
I 2 (2005)	0	1	75	0	0	3	0	79
M (2005)	0	1	14	132	0	5	2	154
PE (2005)	2	6	1	0	1.824	45	1.012	2.890
R (2005)	24	4	13	9	13	2.142	82	2.287
RN (2005)	14	287	0	0	3	104	971	1.379
Total	225	439	103	142	1.850	3.058	2.072	7.889

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Secretaría Técnica de Hábitat y Vivienda del DMQ. Nota: los códigos de los usos del suelo se pueden consultar en la Tabla 5.

En la parroquia de Calderón (Tabla 5) se observa una tendencia parecida a la del DMQ; el suelo agrícola residencial (AR – 2005) es reemplazado por usos residenciales de manera agresiva (R – 2015). Los recursos naturales son afectados por otros usos, lo que evidencia su alta vulnerabilidad y necesidad de protección.

En la Figura 18 se muestran los usos del suelo del área de estudio. Aparecen espacios de Protección Ambiental (Norte, Este y Oeste) y zonas de producción sostenible mezcladas con uso residencial urbano (Sur). Resaltan

los dos sectores con uso vigente residencial rural (áreas delimitadas por líneas discontinuas de color azul); situación que causa efectos de propagación de asentamientos residenciales informales alrededor de las mismas, este es un fenómeno histórico común del crecimiento de la ciudad. También es remarcable la presencia de la zona delimitada con una línea continua de color rojo que tiene asignado como uso vigente “Equipamiento para zonas rurales”.

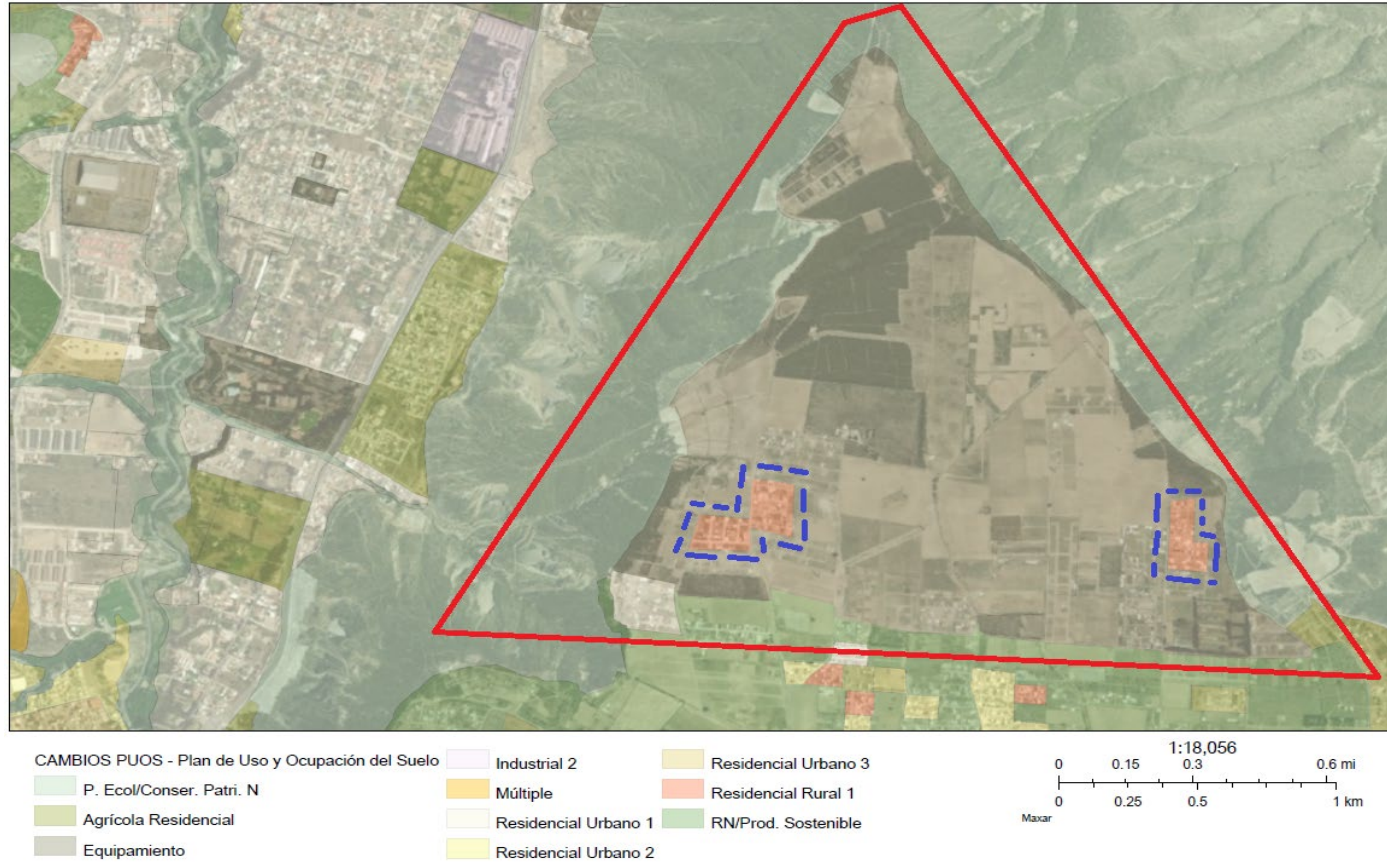


Figura 18. Mapa del Plan y Uso del Suelo de la zona de estudio y alrededores.

Fuente: Geoportal de la Secretaría de Territorio del DMQ y Geoportal de la Secretaría Técnica de Hábitat y Vivienda, 2019.

El número de asentamientos residenciales en esta zona presenta un constante crecimiento; teniendo en consideración la experiencia previa y la historia del crecimiento urbano en el área, la proliferación de los asentamientos seguramente logrará sobrepasar los límites administrativos de la parroquia de Calderón e incluso invadir zonas de protección ambiental, como ya ha ocurrido en otros sectores de la ciudad de Quito. Un ejemplo claro es la ocupación residencial de las laderas ubicadas en el occidente de Quito en toda su extensión longitudinal (Sur – Norte) (Figura 19), cambiando el uso del suelo de “Protección Ecológica – Patrimonial” (faldas del Volcán Pichincha) y “Equipamiento” que tenía asignado originalmente, a usos residenciales en la actualidad. La posibilidad que este mismo proceso ocurra en el norte de la parroquia de Calderón es uno de los motivos para la realización de este estudio.



Figura 19. Ocupación de la mancha urbana en las laderas occidentales de Quito (faldas del Volcán Pichincha).

Fuente: elaboración propia con imágenes de Google Earth

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

CAPÍTULO 4

4. LA CIUDAD, EL CRECIMIENTO Y LA SOSTENIBILIDAD URBANA.

En este apartado se ha recopilado la revisión literaria de los diferentes conceptos y enfoques que ayudaron a estructurar y fundamentar el marco teórico de este trabajo. En su inicio aborda las diferentes caracterizaciones del crecimiento y morfología urbana, así como los impactos en la sustentabilidad. Posteriormente se repasan los modelos teóricos y matemáticos que explican las tendencias y patrones urbanísticos al combinarse con la ruralidad; también se introduce las diferentes metodologías con componentes espaciales, modelamiento espacial y geopronósticos aplicadas en temas urbano – rurales. Por último, se estudia a los autómatas celulares, desde sus fundamentos y aplicaciones hasta cómo estos ayudan a modelar procesos dinámicos como es el caso del crecimiento urbano, además de revisar las diferentes aplicaciones tecnológicas en otros campos.

4.1. Conceptos de la ciudad, el crecimiento urbano y la sostenibilidad urbana.

Generalmente una ciudad se puede distinguir a simple vista, Nueva York, Paris, Barcelona, Bogotá o Quito se identifican sin duda con una ciudad, pero en sí, la percepción de estas ciudades son ejemplos y no definiciones

absolutas ni claras. Para Ávila (2002), quien analiza la percepción visual de la ciudad, ésta es un espacio edificado que se compone de innumerables percepciones humanas que relacionan diferentes ámbitos urbanos, contruidos y naturales, espacios verdes, cruces, calles, edificaciones, plazas, etc. Estos elementos se relacionan para construir la forma urbana resultado de la experiencia sensitiva de un observador.

4.1.1. Conceptos de Ciudad

La densidad de personas en un espacio geográfico reducido es lo que generalmente determina si una localidad es o tiene la potencialidad de convertirse en ciudad o en megaciudad, en definitiva, se trata de la concentración de muchas personas en poco espacio. Sin embargo, la densidad no es el único elemento que se considera para calificar a una localidad como urbana, dependerá mucho del marco legal administrativo de cada región; es así que no existe un valor exacto de la densidad o tamaño mínimo de una ciudad.

La misma naturaleza de la ciudad, así como su definición formal, se han caracterizado como conceptos complejos y abstractos. Para Reynoso (2010) no existe un formalismo estrictamente definido, ya que técnicamente no es posible; “en las ciencias (urbanas) de la complejidad contemporánea se comprende que la ciudad no es susceptible de definirse en términos de conjuntos clásicos o de rasgos componenciales” (Reynoso, 2010:5). La definición de “ciudad” independientemente de describir algo complejo, es cualquier asentamiento extenso del mundo globalizado que se componga de cierta superficie o número de habitantes.

Para Harris (1994), bajo los enfoques de antropología urbana, el estándar para que un asentamiento se considere ciudad alcanza 5.000 habitantes, mientras que las concepciones administrativas (gobiernos locales y nacionales) varían dependiendo de la región o país; por ejemplo, en Estados Unidos de América se considera área urbana cuando esta cuenta con una cifra superior a 2.500 habitantes y con una densidad mínima de 193 habitantes/Km², mientras que Japón considera un mínimo de 30.000 habitantes; en Suecia se considera ciudad a asentamientos desde los 200 habitantes. Por tanto, existe una horquilla muy amplia en cuanto al número de habitantes que definen una ciudad, por ejemplo, desde los 30.000 habitantes de Japón hasta los 200 de Suecia.

Las definiciones de ciudad pueden variar al incorporar criterios políticos y económicos. Taiwán, por ejemplo, define a un área como urbana si cumple al menos una de las siguientes características: densidad de 300 habitantes/km² y 70% de la población dedicada a actividades económicas diferentes a la agricultura (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018a).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) celebra cada 31 de octubre el Día Mundial de las Ciudades y cada año trata de dar respuestas a diferentes preguntas: ¿Qué tanta gente es mucha gente?, ¿Qué tanto espacio es mucho espacio? y ¿Cuán denso es muy denso? El Banco Mundial propone como definición de área urbana a toda aquella extensión de asentamientos que tenga una densidad de 150 habitantes/Km² y que se encuentren localizados a menos de 60 minutos de un asentamiento de 50.000 habitantes. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) añade algunos factores censales para establecer los rangos urbanos y los procesos de conurbación definiendo zonas urbanas y suburbanas de una ciudad; así, establece que los umbrales a considerar serán densidades de

1.000 a 1.500 habitantes/Km², poblaciones mínimas de entre 50.000 y 100.000 habitantes según la región o país y un mínimo de 15% de desplazamientos por trabajo entre los centro urbanos y el área de influencia (Brezzi et al., 2012).

El Fondo de las Naciones Unidas para la infancia (UNICEF), en su informe “Estado Mundial de la Infancia” de 2012, determina que una ciudad puede definirse como un espacio urbano con alta densidad de población, en la que predomina el comercio, la industria y los servicios; se diferencia de otras entidades urbanas por diversos criterios, entre los que se incluyen la población, la densidad poblacional o el estatuto legal.

Las diferentes definiciones de área urbana de las diversas organizaciones, Banco Mundial, ONU, OECD, etc., se ven influenciadas por las políticas territoriales de cada país, resultando que el significado de ciudad se pueda distinguir, pero no formalizar. Por ejemplo, para el caso de México, la metodología del Banco Mundial suponía una tasa de población urbana en el año 2000 de 68% mientras que las estadísticas de la ONU indicaban que sería de 75% (una diferencia de más de 7 millones de habitantes). De igual manera, la metodología de la OECD estimó una tasa de población urbana de 58% para 2005 mientras la de la ONU estableció un 76% (una diferencia de 19,5 millones de personas) (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018a).

Más allá de las caracterizaciones estructurales y numéricas de ciudad, Downey y Mumford (1961) consideran a la ciudad como elemento físico, y abordan la formalización de una ciudad como institución social, en donde las personas se congregan para forjar valores comunes en un lugar diseñado para ofrecer espacios amplios que promuevan el intercambio de ideas. Carrión (2001) detalla que la ciudad es un producto multifuncional y extraordinario creado por la humanidad, que concentra la diversidad,

absorbe grandes cantidades de población y está en constante construcción y reconstrucción; es un producto social en continuo cambio que cuenta con una historia.

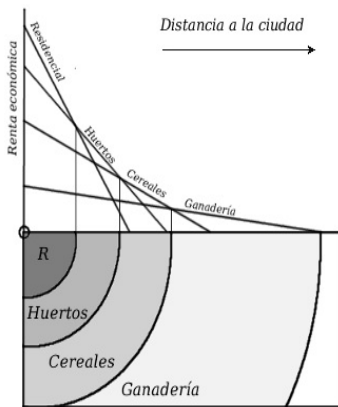
Para la realidad nacional del Ecuador, la definición de ciudad se remonta a la época de la Real Audiencia de Quito. Durante la colonia, Quito fue la capital de la Audiencia de Quito, un centro político, administrativo y religioso con categoría de ciudad. Morelli (2015:1) detalla que “gran parte de la historiografía considera la identidad regional como un elemento preexistente a la construcción de los espacios nacionales, que se origina a lo largo de la época colonial y se modela sobre las estructuras administrativas y económicas-sociales del imperio”. Así mismo, cita a Juan Maiguashca quien en su libro “Historia y región en el Ecuador (1830 – 1940)” confirma que los diversos espacios regionales (ciudades principales en la actualidad) del Ecuador ya existían y eran identidades regionales muy fuertes denominadas ciudades-regionales, con fortaleza en el derecho del territorio y sentido de pertenencia colectiva.

En la actualidad, según el Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD) del Ecuador, el Estado se organiza territorialmente en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales y, en casos especiales, podrán constituirse en distritos metropolitanos. Las ciudades y distritos metropolitanos se conforman por parroquias, que según el COOTAD deben de contar con al menos 10.000 habitantes, de los cuales 2.000 deberán estar domiciliados en la cabecera de la parroquia; por consecuencia la definición de una ciudad en el Ecuador deberá cumplir este requisito, además de los informes técnicos de extensión, límites y gobierno de las municipalidades involucradas. Un ejemplo relativamente actual (2006) es la formación de ciudad Alfaro que se ha forjado durante los últimos 2 decenios y que abarca

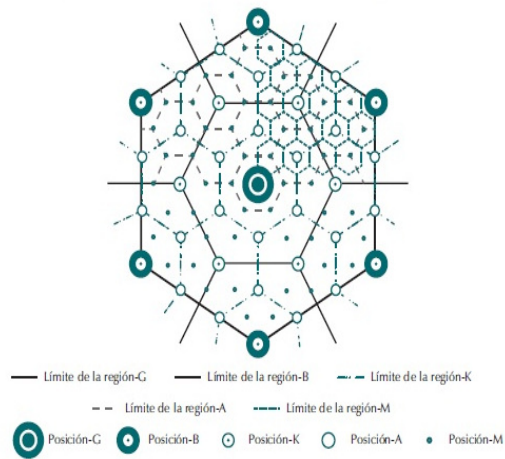
parroquias de cinco cantones de la provincia de Machala – Ecuador. Este proyecto de desarrollo urbano considera la zona ocupada por cinco ciudades cercanas y representativas de la provincia que abarca una concentración de población de aproximadamente 800.000 habitantes.

4.1.2. Las ciudades como sistemas complejos.

Los estudios que abordan la morfología de la ciudad como el de la Teoría del lugar central, han tratado de explicar mediante modelos los patrones de los asentamientos urbanos con base en su propio pasado (Figura 20). Por ejemplo, Batty y Longley (1994) ocupan geometría fractal para caracterizar el crecimiento urbano de la ciudad de Taunton en Inglaterra. Los primeros modelos neoclásicos de localización y ubicación de Von Thünen y los subsecuentes de Weber y Lösch, se basan en la idea de que el desarrollo urbano se rige solamente por fenómenos económicos y sociales. Para estos enfoques el valor del suelo determina la localización, el uso y las condiciones sociales y culturales de ese espacio (Linares, 2001; Isard, 1960). Estas consideraciones provocan que la competencia por el espacio se base en las necesidades puntuales de localización para obtener el máximo beneficio con la menor inversión.



Estado aislado (Von Thünen, 1876)



Jerarquía de lugares centrales (Christaller, 1933)

Figura 20. Modelos de economía espacial: Von Thünen y Christaller.

Fuente: imagen tomada de <http://habitat.aq.upm.es/tydu/img/fig-economia-espacial.jpg>

Cacciari (2010) valida la consideración de que la ciudad es un sistema vivo y bajo este pensamiento enfatiza el símil entre ciudad, sistema natural y organismo. K' Akumu y Oyugi (2007) plantean el estudio de los centros de la urbe desde una visión físico-química, tratándolos como seres vivos que se originan, crecen, se desarrollan y que, después de cierto tiempo, tienen la posibilidad de desaparecer (morir). Una de las definiciones publicadas por Kennedy et al. (2008) sobre el Metabolismo Urbano, considera a la ciudad como una realidad compleja en todo su espectro, es decir, en todos sus elementos y en la suma de estos.

Para Zhang et al. (2009) la ciudad es una especie híbrida entre sistemas ecológicos y sistemas económicos, donde coexisten elementos naturales con elementos sociales y económicos que interactúan intensamente. Maldonado (2014) relaciona a las ciudades con un sistema viviente, especificando que enraízan bajo la apropiación del territorio y del espacio, así como con el flujo

de intercambio de materia y energía, estableciendo jerarquías espaciales con territorios cercanos (Figura 21). En definitiva, la ciudad es considerada como un ecosistema complejo en el cual interactúan agentes bióticos y abióticos con tendencias a crear sostenibilidad ambiental urbana. Maldonado (2014:18) afirma que:

“Las ciudades son sistemas y se comportan como si estuvieran vivas o exhibieran vida. (...) como ese ejemplo evidente de languidescencia y muerte que es Detroit: una ciudad que se muere viva, de un día para otro, de un mes al siguiente. Crónica, crítica, agudamente.”

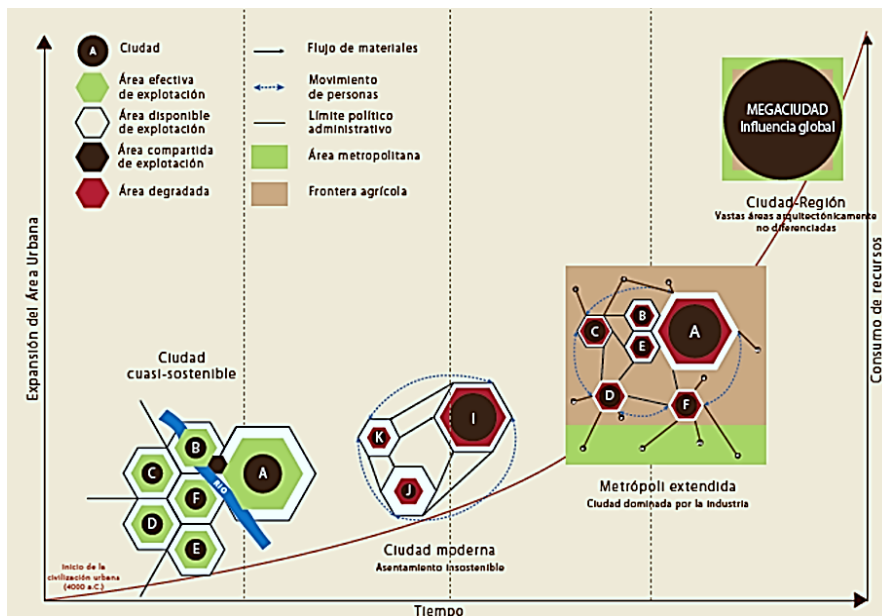


Figura 21. Metabolismo de los sistemas urbanos.

Fuente: imagen tomada de

<https://htca4gl.files.wordpress.com/2015/10/captura.png?w=405yh=311>

Para Batty (2012) las ciudades son parte de las ciencias complejas y se entienden como un sistema (Teoría de Sistemas) debido a que presentan un orden y una estructura, de modo que las ciudades se comparan mejor con

sistemas biológicos que con sistemas mecánicos. Los nuevos enfoques basados en la complejidad de las ciudades mantienen las teorías y conceptualizaciones que se derivan de la economía, ciencias sociales y regionales para entender y explicar a las ciudades. Así mismo, uno de los problemas de la teoría de sistemas aplicada en la ciudad, es que tiende a verse en inicio como un sistema que funciona correctamente y que las externalidades que perturban al sistema se auto resuelven por sí mismas, llevando al sistema a un estado preexistente. Esta dinámica en realidad no aparece en el funcionamiento de una ciudad, ni si quiera si estuviera perfectamente organizada y dirigida. Las ciudades absorben eventos como terremotos, innovación y cambios sorpresivos que en determinado momento el sistema no es capaz de manejar.

4.1.3. Morfología urbana.

Las investigaciones sobre la ciudad experimentan una convergencia interdisciplinaria que contribuye al desarrollo de diferentes áreas de conocimiento, entre ellas, la morfología urbana. Los fenómenos antrópicos sobre la superficie terrestre han generado diferentes formas o morfologías territoriales, así como diferentes paisajes geográficos y urbanos excluyendo a los estrictamente naturales. La morfología del territorio se analiza en varias escalas, desde la regional hasta la urbana y su estudio se centra en la fisionomía del territorio basada en la herencia del pasado. Sobre la escala urbana, la morfología revela las organizaciones que interactúan en la urbe (económicas, sociales, políticas y el espacio construido) enmarcadas dentro de un contexto forjado por el espacio y el paisaje como producto social de las formas espaciales existentes; incorpora también los elementos básicos que configuran el tejido urbano que toman en cuenta la relación con la

historia; una especie de morfogénesis, que permite conocer la forma física de la ocupación del suelo con sus construcciones y espacios vacíos (Capel, 2002).

La morfología intenta identificar la lógica de la expansión de los asentamientos y los patrones que preceden a una aglomeración urbana desde sus orígenes y formación, así como sus modos de vida y los flujos internos y externos que demandan los habitantes que la conforman. La forma de la urbe se puede caracterizar a través de su desarrollo y los trazados de los diferentes patrones que se han sucedido desde sus orígenes.

Las diferentes formas que a lo largo del tiempo se han establecido para generalizar las conceptualizaciones teóricas, se basan en las características físicas regionales y locales (valles, cordilleras, altiplano) de cada ciudad. Las mismas características que son determinantes para definir las tendencias y formas que estructurarán el esqueleto de la urbe (Miranda, 2017).

Las características planimétricas de las ciudades se definen en los trazos que la conforman y se encuentran principalmente representadas por el sistema vial urbano y perimetral, los cuales dibujan las arterias y la forma de crecimiento de la ciudad; el parcelado planificado y las normativas del territorio rigen el crecimiento y la forma planimétrica que adoptan las ciudades. Se pueden entender tres formas fundamentales de esqueletos de la ciudad: la reticular o cuadrangular, la radial y la mancha uniforme (Prieto, 2007).

Otra dimensión que la morfología llega a detallar entre las edificaciones de la urbe e imagen de la ciudad es la vertical (paisajístico – urbano); por ejemplo, los contrastes de las fachadas de la infraestructura antigua y contemporánea que reproducen las tendencias arquitectónicas, así como el

parcelado, que son consecuencia de la planificación territorial y paisajística del área.

La dinámica de la demanda espacial de las ciudades refleja las formas y los patrones de crecimientos de los asentamientos a diferentes escalas: barrios, periferias, ciudades enteras, etc.; y al mismo tiempo evidencia la sostenibilidad de los recursos que demandan. Generalmente, al crecer una localidad, esta se combina con el desarrollo de otras ciudades o localidades, modificando la escala y morfologías; esto suele ser un ejemplo de comportamiento fractal y de auto-similitud (Batty y Longley, 1994).

Otro enfoque en el estudio de la morfología urbana parte de la auto-semejanza o auto-similitud fractal aplicada al crecimiento de las ciudades (Zarza, 2011). Esta aproximación se basa en que tanto las morfologías y evolución de las ciudades (crecimiento urbano) contienen cierta similitud, exacta o estadística, con todo el sistema a diferentes escalas (Figura 22). La escala, por su parte, se refiere a cómo los elementos de un sistema (ciudad), cambian de forma y de tamaño, y provee nuevas formas de percepción y simulación, mientras que los elementos fractales, comparados con los elementos actuantes, emergen de la complejidad mediante una bifurcación de los mismos en un momento de fluctuación del sistema, es decir, cuando el sistema pierde el equilibrio causando una nueva auto-organización o estructura disipativa (Bognanni, 2014).

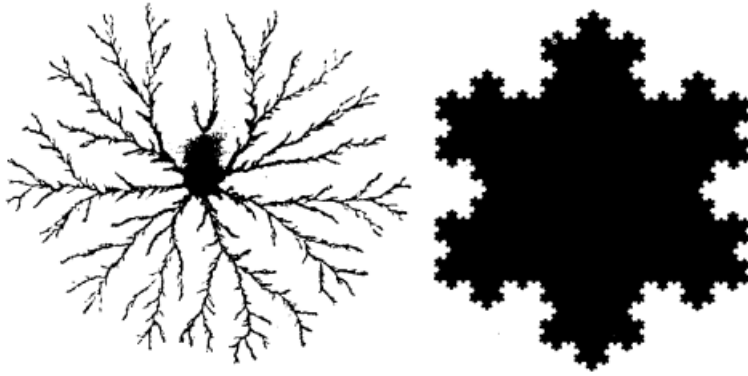


Figura 22. Modelos fractales (copo de Von Koch a la izquierda o deposito electrolítico de zinc a la derecha).

Fuente: imagen tomada de Zarza (2011).

4.1.3.1. Ciudad retícula ortogonal.

Prieto (2007), en su escrito “La ciudad ideal”, indica que el diseño de ciudades de tipo reticular es precisamente una matriz pseudo-regular que permite una circulación continua y perfectamente ordenada. Este diseño se presenta con el fin de mantener las ciudades ordenadas y con flujos de movilidad y transporte continuos; generalmente se basa en disponer las calles y vías en ángulo recto, formando cuadras (manzanas) regulares. Uno de los referentes más destacados es el plan o trazado hipodámico que se utilizaba en la configuración de las ciudades de la antigua Grecia. El diseño ortogonal también fue empleado en la fundación de nuevas ciudades en la España cristiana medieval y en las colonias americanas. La influencia de este tipo de trazado es una de las más impactantes en las ciudades, de hecho, la mayoría de las ciudades del mundo tienen este tipo de diseño en toda su urbe o en parte de la misma, sobre todo en las áreas de crecimiento y ensanche de la ciudad. Un ejemplo de trazado hipodámico u ortogonal se encuentra en la Figura 23 de la ciudad de Barcelona, donde se puede observar el contraste

entre el trazado reticular del ensanche de Cerdà (s. XIX) (sector superior e izquierdo) y la trama histórica de la ciudad (sector inferior y derecho).



Figura 23. Fisionomía reticular en el ensanche de la ciudad de Barcelona.

Fuente: imagen tomada de Google Earth, 2022.

La ciudad de Guayaquil en Ecuador es otro ejemplo de una ciudad de trazado ortogonal muy dominante en la mayoría de la urbe (Figura 24). Cabe recalcar que este diseño se acomoda de mejor manera a regiones planas sin accidentes geográficos importantes. En definitiva, el diseño refleja intención de orden, facilita la lotización, administración y tránsito; pero causa desperdicio de viabilidad, pobreza visual y monotonía. La práctica del modelo de ordenación urbana en retícula ha gozado de una continuidad ininterrumpida hasta la actualidad, sin embargo, un modelo de diseño urbano también muy utilizado a lo largo del tiempo y considerado como ideal es el plano radiocéntrico.



Figura 24. Forma urbana ortogonal, sur oeste de la ciudad de Guayaquil Ecuador.

Fuente: imagen tomada de Google Earth, 2022.

4.1.3.2. Ciudad concéntrica o radial.

La principal característica de esta morfología concéntrica o radial es la lógica centrada en un objeto que generalmente presenta un gran simbolismo para el área urbana, y que es rodeado por calles dispuestas en círculos concéntricos. Del centro parten avenidas rectas que las unen, son los radios de esa trama circular. Su principal ventaja es la fácil y rápida circulación entre el centro y la periferia, dado que las vías se configuran alrededor del centro o punto importante de atracción. Además del enlace centro – periferia, este tipo de trazado permite comunicar los barrios periféricos entre sí. El resultado es una ciudad con forma estrellada que se asemeja a una tela de araña tal y como se puede comprobar en la Figura 25, donde se muestra a la ciudad de París (Francia). En principio, el diseño circular o poligonal cerrado reflejaba un fin defensivo, atendía a un mismo esquema de cascarón protector, siendo su origen una geometría amurallada. La expansión de la

ciudad basada en este diseño concéntrico regular favorece el desarrollo y gobernanación centralizada (Mendoza, 2011).



Figura 25. Urbanidad concéntrica, Paris – Francia.

Fuente: imágenes tomadas de Google Earth, 2022.

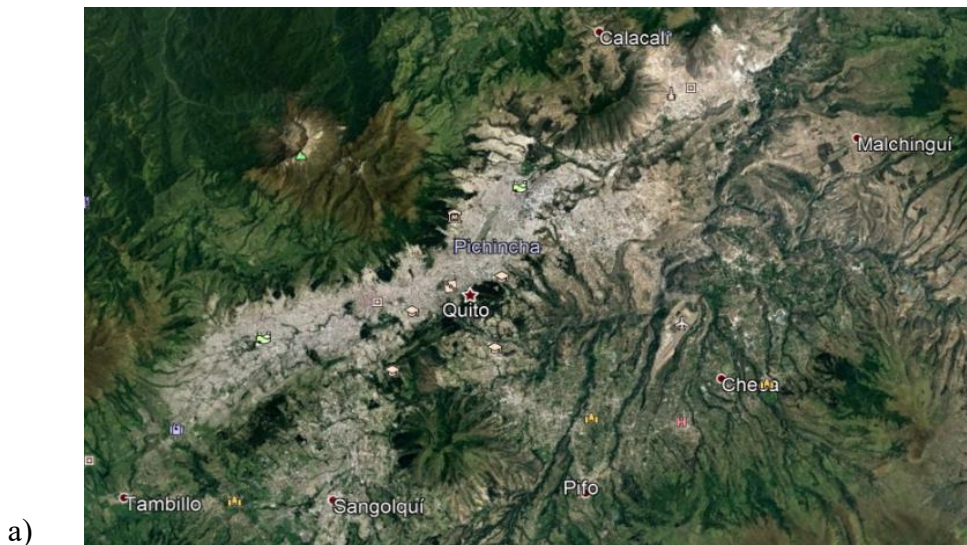
4.1.3.3. Ciudad desordenada – plato roto.

Para Vega y León et al. (2011), el crecimiento irradiado de una ciudad en intervalos de tiempos relativamente cortos hace que adopte formas irregulares conocidas como “plato roto”, que reflejan asimetría y que generalmente se deben a la falta de planificación urbana. Esta morfología se caracteriza por estar conformada por trazas en forma orgánica y tener riqueza visual debido a su diversidad, pero generan dificultad de tránsito y de orientación.

Existen diferentes razones por las que se pueden generar urbanismos de plato roto, las principales son:

- Geografía del lugar donde se asienta la ciudad que impide un diseño reticular. Las ciudades latinoamericanas suelen adoptar este diseño debido a que se han adaptado a la topografía del territorio.
- Construcción sin diseño de las urbanizaciones periféricas (pobre planificación urbana) que, por necesidad, se han debido ejecutar de esta manera, por ejemplo, ciudades mineras, asentamientos informales, entre otras.

Un ejemplo de esta trama urbana y, a la vez motivo de este estudio, es la ciudad de Quito. La Figura 26 presenta una entremezcla de tipos de morfología y desorden que se deben a la falta de planificación urbana, por un lado, y por otro, a la adaptación a la topografía del lugar.





b)

Figura 26. Morfología planimétrica de la ciudad de Quito – Ecuador (arriba) y Diseño plato roto del centro norte de Quito (abajo).

Fuente: imágenes tomadas de Google Earth, 2022.

4.1.3.4. Otras morfologías de ciudad.

De las tres morfologías anteriormente mencionadas se pueden derivar variantes y combinaciones que han caracterizado a las diferentes ciudades, por ejemplo, el diseño ecléctico, que comprende la sobreposición de una morfología radial y una trama ortogonal. Un claro arquetipo es la ciudad alemana de Mannheim (Figura 27), la cual se ha desarrollado dentro de un recinto amurallado basado en una retícula ortogonal (Vega y León et al., 2011).



Figura 27. Ciudad de Mannheim Alemania, amurallada y ortogonal.

Fuente: imagen tomada de Google Earth, 2022

Otras morfologías urbanas se han concebido para explicar las diferentes formas que adoptan las ciudades en el plano: una de ellas es la lineal, por ejemplo, la ciudad de Santa Rosa en Argentina y en asentamientos periféricos de la ciudad de Guayaquil Ecuador, plasmadas en la Figura 28, que da como resultado una espina dorsal a lo largo de un eje que generalmente es de transporte, pero que también puede derivarse de un accidente natural; por ejemplo, un río. El término constelación se utiliza para denominar a un conjunto de ciudades de morfología semejante y relativamente cercanas entre sí, en la Figura 29 se muestra localidades alrededor del Valle del Cauca en Colombia. Por último, aparecen las ciudades denominadas satélites que se configura como un conjunto de

pequeñas ciudades ubicadas alrededor de una mayor, la ciudad de Cali
Colombia es un ejemplo de esta configuración (Figura 30).



Figura 28. Morfología Lineal, a) Santa Rosa Argentina, b) zona rural Guayaquil Ecuador,
Fuente: imagen tomada de Google Earth, 2022.



Figura 29. Morfología constelación. A lo largo del Valle del Cauca en Colombia, al Sur Santander de Quilichao, al noroccidente Jamundí.

Fuente: imagen tomada de Google Earth, 2022.

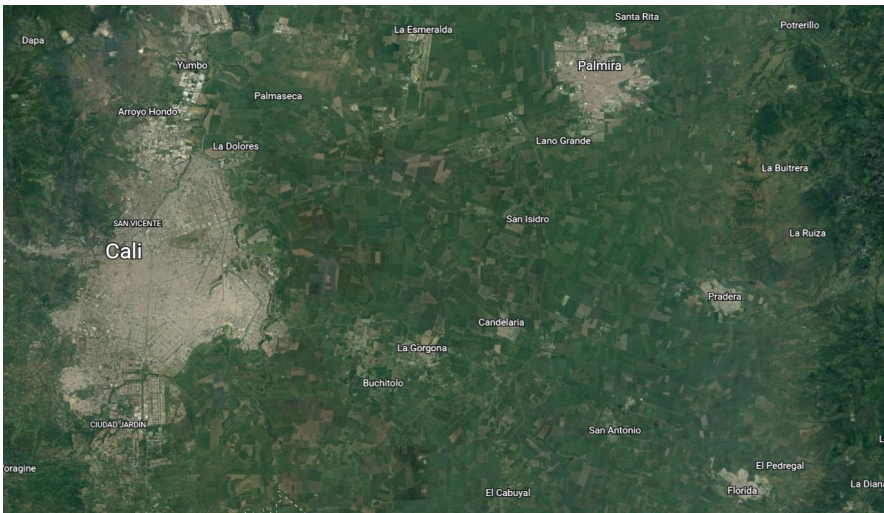


Figura 30. Morfología satélite, ciudad de Cali Colombia.

Fuente: imagen tomada de Google Earth, 2022.

4.1.4. Crecimiento urbano y sostenibilidad

El proceso urbano de crecimiento y expansión conlleva cambios importantes en todas las dimensiones de la ciudad, principalmente en la morfología, debido a que las zonas periféricas se transforman en nuevas zonas centrales o peri-centrales. Para Batty et al. (1999) el crecimiento urbano consiste en la interacción de tres dinámicas espaciales: (1) la centralidad del núcleo urbano, marcada generalmente por el origen que precede a la ciudad; (2) la presión de los bordes peri-centrales que ejerce su influencia en las funciones de desarrollo de la ciudad y (3) la rápida sub-urbanización en las periferias.

La Agencia Europea de Medio Ambiente (2006) define al fenómeno “*urban sprawl*” como un “derramo” de la ciudad. Un patrón de expansión física urbana de baja densidad, producido principalmente en áreas agrícolas circundantes a la misma (EEA, 2006). El control y la gestión adecuada del conocido “*urban sprawl*” o dispersión urbana formalmente no están determinados, sin embargo, las técnicas usadas para contrarrestar este fenómeno y planificar cómo evitarlo han tenido al menos éxitos ocasionales. Una de las técnicas más destacadas son los cordones verdes de delimitación, este tipo de restricción de la propagación urbana expansiva es producto de la planificación urbana y toma diferentes connotaciones tanto en su funcionalidad como el nombre mismo. Para Evans (1997), un cinturón verde es una zona que separa el tejido urbano a través de áreas de campo, generalmente alrededor de la zona urbana, que pretenden contener el crecimiento urbano desmedido y, en cierta forma, garantizar espacios para respirar y mejorar la calidad del aire. Un ejemplo es el famoso cinturón verde impuesto en Londres en el siglo veinte (Figura 31), que bloquea la fuerte urbanización mediante severas políticas en la planificación urbana. Los efectos económicos de este tipo de restricción dependen de las

características económicas y del marco legal y social de la localidad. Por consecuencia, resulta intuitivo que los impactos de las restricciones de diferente naturaleza varíen entre regiones y países generando diferentes niveles de cumplimiento o respeto de la planificación.

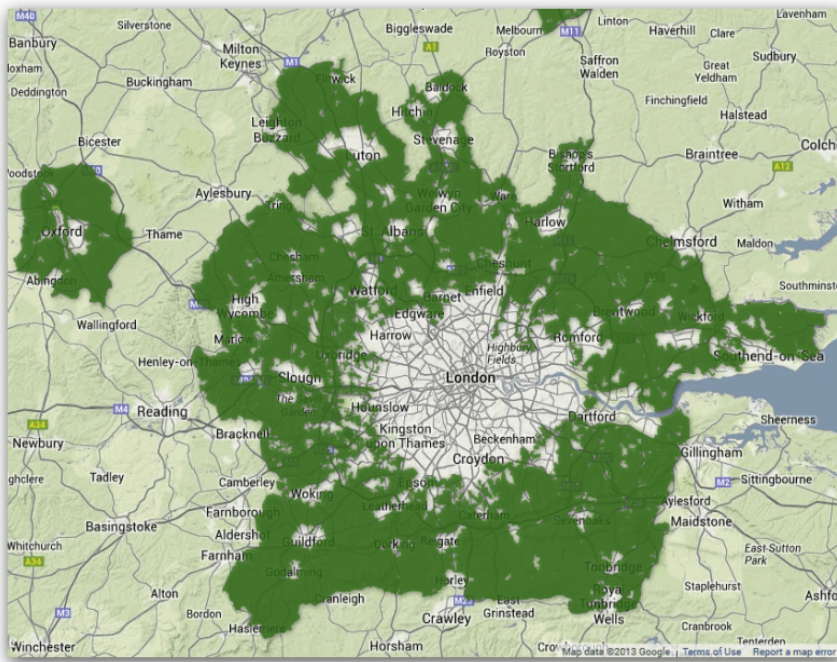


Figura 31. Cinturón verde alrededor de Londres.

Fuente: imagen tomada de <https://asktenants.co.uk/wp-content/uploads/2016/03/GREENBELT-AREA-AROUND-LONDON.jpg>

En Italia, por ejemplo, se identificaron aproximadamente un millón de unidades inmobiliarias, no registradas en el catastro, denominadas “inmuebles fantasmas” (Val, 2012). En este caso la estrategia utilizada por la administración no es propiamente una restricción, sino una subvención para subsanar este fenómeno: el gobierno italiano obliga al pago de multas para su legalización mediante exoneraciones como destinar una parte de la propiedad a “área verde”. Sin embargo, la planificación urbana queda

comprometida y los problemas generados por estos asentamientos son inevitables. En situación similar se encuentra Quito, donde se regula que todo fraccionamiento de suelo que se origine por acto voluntario, entregará al municipio un porcentaje de áreas verdes. Este fenómeno se ha registrado frecuentemente en las periferias de la ciudad en los últimos dos decenios.

En el siglo XX el fenómeno de la expansión pudo confundirse con el crecimiento estructural industrial, proceso que transformó a las sociedades y afectó a las actividades agrícolas de baja y mediana intensidad, derivándolas hacia sociedades de consumo y producción intensa a través de las economías a escala generadas por el acelerado crecimiento demográfico. En este siglo, el desarrollo en tecnología y transporte modifica la intensidad de consumo y producción facilitando a la población la accesibilidad a bienes y servicios tanto de forma física como remota. Sin embargo, los núcleos urbanos siguen creciendo en diferentes niveles jerárquicos (Jackson, 1985).

Desde el siglo XX la planificación urbana en América ha estado enfocada principalmente a controlar el crecimiento urbano, generalmente a través de regulaciones institucionales y gubernamentales, complementadas con el incentivo para desarrollar actividades económicas y residenciales en el núcleo de la urbe. No obstante, estas políticas dejan abandonada la estructura económica espacial contemporánea, en donde la ciudad central es un vértice más de un sistema complejo diferenciado por una jerarquía de precios y mercados que muchas veces son inentendibles (Krugman, 1993).

El crecimiento de una u otra manera es inevitable, sobre todo en regiones de Latinoamérica que ejercen presión sobre las políticas que rigen el uso y ocupación del suelo. Estudios recientes han debido admitir tal crecimiento suburbano y proponer alternativas más selectivas para la admisión de

asentamientos periféricos, basándose en un crecimiento sustentable (inteligente) que pretende gestionar una expansión equilibrada.

Si se desea establecer una clasificación del crecimiento urbano, esta se debe fundamentar en las propiedades geométricas establecidas por el crecimiento en el espacio y en el tiempo, así como por factores como el transporte, los servicios, las políticas, el mercado, las limitaciones geográficas, etc. (Solà-Morales, 1997). Estos factores establecen los patrones de expansión condicionados a los recursos de cada región o país; en este aspecto, la falta de recursos de una ciudad podría acelerar el crecimiento en las periferias. En realidad, la combinación de todas las influencias y preferencias de los habitantes del conjunto urbano es la que determina las tendencias de la ocupación espacial. Estas tendencias también pueden ser influenciadas por comportamientos globales que modifican las preferencias locales entre las generaciones que van habitando el área disponible. Los servicios tecnológicos de la ciudad, por ejemplo, son una determinante que en la actualidad es considerada como primordial, y esta tiene mucho peso en el momento de establecer la diferenciación económica del valor del suelo y de la ubicación (Capel, 2002).

El elemento base del crecimiento urbano sobre el cual actúa la dinámica espacial urbana, es el espacio apto para los asentamientos disponible alrededor de la ciudad. Además, el crecimiento dependerá estrechamente de los factores demográficos locales y de las atracciones que desde el exterior de la ciudad se generen. La expansión urbana produce preocupación en toda ciudad que la experimenta, se considera un fenómeno expansivo por las bajas densidades que en principio genera, y por la alta velocidad con que evoluciona, de modo que, los bordes de las áreas consolidadas presentan una estética uniforme y monótona.

Otro de los impactos que produce la dispersión urbana es la pérdida de suelo que estaba destinado a otras actividades como la agricultura. El crecimiento en zonas periféricas es un proceso fragmentado y asistemático, que deja espacios ineficientes y poco aprovechables para la agricultura. Como consecuencia, la estética en estas áreas de expansión tiene poca riqueza visual o calidad paisajística urbana, contaminando el atractivo visual de la ciudad consolidada, que en algunos casos puede resultar irreversible (Torrens y Alberti, 2000).

La expansión urbana descontrolada compromete todo elemento de sostenibilidad de una ciudad; la llegada de equipamiento a los sectores en expansión desmedida es tardío y poco objetivo. El “*urban sprawl*” afecta paralelamente al medio ambiente, ya sea por ocupación de áreas destinadas a la agricultura como por la destrucción de los recursos del entorno que, a mediano y largo plazo, genera contaminación y perturbación ecológica; sobre todo la construcción de infraestructura vial para la comunicación entre el centro urbano y las zonas de expansión, disminuyendo en algunos casos la calidad de vida de sus habitantes. Para Batty et al. (1999) y Torrens y Alberti (2000), mitigar la expansión urbana descontrolada, históricamente ha involucrado empirismos no fundamentados, sobre todo en referencia a la medición y monitoreo adecuado del fenómeno. Resulta muy complicado emitir soluciones prácticas para el mundo real con base en estudios del crecimiento urbano, de hecho, estos revelan tensiones entre los actuantes de la ciudad y el suburbio, poniendo en duda la aplicación de mecanismos eficaces para mitigar el crecimiento.

Cuantificar la expansión urbana es un procedimiento de resultados ambiguos, en gran parte por el número importante de factores que se debe incluir en el proceso, por las técnicas de elección de las variables a utilizar

y por la determinación de la escala a la que se debería medir el mismo. Además, todavía no existe consenso sobre qué variables representan mejor el fenómeno (Gordon y Richardson, 1997 citados en Torrens y Alberti, 2000). Sin embargo, es indiscutible que una de las variables tradicionales que permite medir el crecimiento urbano es la densidad de población obtenida de los indicadores censales relacionados, y la escala a la cual se cuantifica (distrito, barrio, área metropolitana) es un factor determinante. El indicador que permite comparar las densidades entre varias ciudades es el gradiente de densidad, el cual evalúa las actividades humanas a lo largo del distanciamiento del centro de estudio, es decir, desde el centro de la ciudad hacia las periferias. Según Batty y Longley (1997), otro de los indicadores utilizados para cuantificar la expansión urbana corresponde a las dimensiones fractales; medidas cuantitativas espaciales que brindan mediciones del fenómeno a partir de dimensiones como la autosimilitud o autosimilaridad (Figura 32).

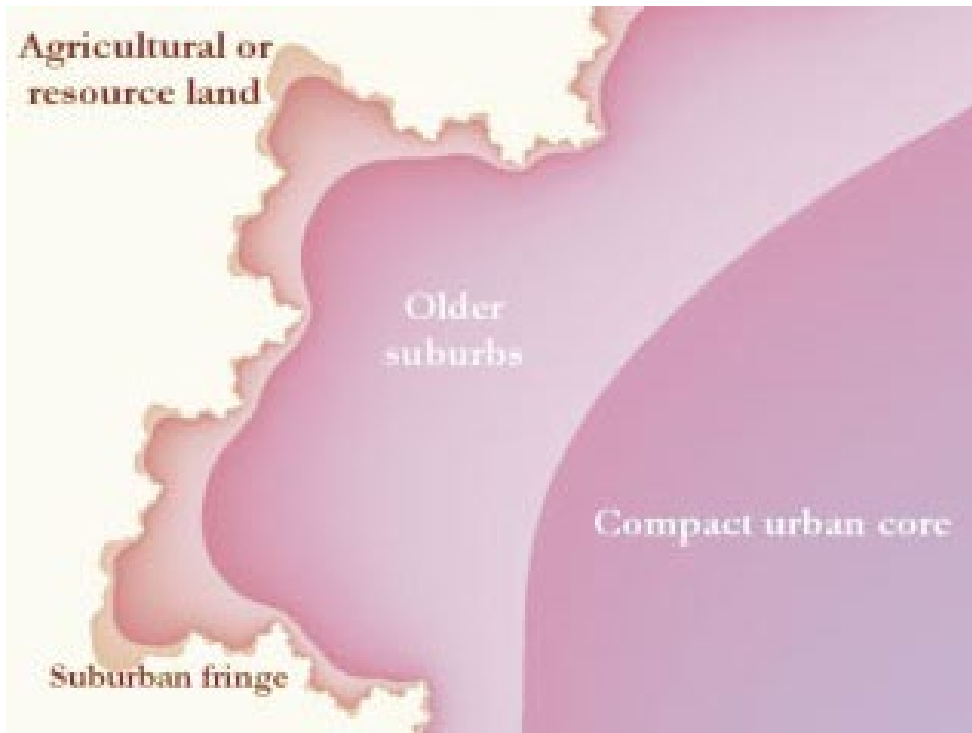


Figura 32. Límite periurbano conceptualizado de forma fractal.

Fuente: imagen tomada de Alberti, M. (2000).

La administración local de las ciudades define los elementos que intervienen en el fenómeno de “*sprawl*” en sus ordenanzas municipales, en el plan de ordenamiento territorial y demás regulaciones que rigen sobre el uso del suelo, por lo que existen relaciones y consecuencias entre estas regulaciones, la expansión urbana y la morfología que toma la ciudad. Sin embargo, concurren otros elementos que también influyen en la expansión urbana y que posiblemente sean los que regulen su ritmo de crecimiento, estos son los valores y cultura de la sociedad (Miranda, 2017).

La UNICEF, en su informe “Estado Mundial de la Infancia” de 2012, define el crecimiento urbano como el aumento (relativo o absoluto) en el número de personas que vive en los pueblos y las ciudades. El ritmo de crecimiento

de la población urbana depende del aumento natural de dicha población y de los nuevos habitantes que se trasladan o asignan a estas zonas; por una parte, aparece la migración neta del campo a las ciudades y, por otra, la reclasificación de los asentamientos rurales en ciudades y pueblos. En la mayoría de los países es el producto de la suma de la tasa de crecimiento natural y la tasa de inmigración neta. Así mismo, UNICEF afirma que una zona urbana se puede definir por medio de uno o más de los siguientes factores: criterios administrativos o fronteras políticas (como formar parte de la jurisdicción de un municipio o comité de la ciudad), el tamaño de la población, la densidad demográfica, la función económica (por ejemplo, cuando la actividad primordial de una gran mayoría de los habitantes no es la agricultura, o cuando existe empleo de sobra), y la existencia de características urbanas (como calles pavimentadas, alumbrado público o alcantarillado).

Para Naciones Unidas – Hábitat (2017), una ciudad propiamente dicha es la población que reside dentro de las fronteras administrativas de una ciudad; debido a que las fronteras de las ciudades no siempre responden al crecimiento de la población. Los conceptos de aglomeración urbana y zona metropolitana ayudan a comparar los tamaños de las poblaciones urbanas de distintos países.

Las ciudades no son una suma de sectores, al contrario, constituyen sistemas complejos e interdependientes, de cuya dinámica depende la calidad de vida de las personas y buena parte de la economía regional. La rápida urbanización de los territorios acarrea importantes vacíos de infraestructura urbana, lo que también reduce la calidad de vida de la población. Según Naciones Unidas – Hábitat (2008), en América Latina y el Caribe (ALC), 117 millones de personas viven en asentamientos irregulares en la región,

proporción equivalente al 27% de su población urbana. Este contraste afecta directamente la funcionalidad correcta de las ciudades, principalmente en las periferias carentes de servicios básicos e infraestructura. La urbanización genera una mayor demanda de equipamientos y servicios al Estado, de modo que para su dotación y financiamiento se requieren mayores recursos.

El concepto de desarrollo sostenible fue introducido en 1987 en el informe de la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo y se entendía como un proceso de progreso económico armonioso capaz de satisfacer los principios de justicia social y responsabilidad ambiental. La nueva visión de ciudad sostenible caracteriza al desarrollo urbano como un sistema holístico en el cual los aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales se encuentran armonizados integralmente. Por lo tanto, se parte de la idea de que una ciudad está compuesta por subsistemas que se interrelacionan y son interdependientes (Shmelev y Shmeleva, 2009). El análisis y el diseño de estrategias de desarrollo urbano sostenible requieren de una aproximación integral que vincule los diferentes aspectos de la vida urbana. Aunque en los estudios sobre el tema se ha avanzado en el reconocimiento de la aproximación integral, en la definición de indicadores potenciales y en el establecimiento de canales de vínculos intersectoriales, no existe aún una herramienta aplicada que permita el análisis integral y la priorización sectorial (BID, 2011).

Los intereses políticos a comienzos del siglo XXI sobre las afectaciones que conllevan las implicaciones negativas de la ocupación espacial de los territorios, traducida en el cambio ambiental y el cambio climático mundial, han influido en la orientación de nuevos enfoques en los estudios de ocupación espacial como instrumentos de apoyo en la toma de decisiones,

para guiar a la creación de nuevas políticas para el uso sostenible del suelo y el espacio con el objetivo de generar calidad de vida sostenible.

4.2. Las Ciudades Latinoamericanas. El caso de ciudades ecuatorianas y de Quito.

Las comunidades que ocupaban América Latina en la antigüedad distribuyeron instintivamente los usos del suelo en relación a la forma de vida y producción de aquel entonces. El patrón que utilizaron para ocupar el territorio se encontraba limitado por el ingenio y fecundidad de las actividades propias de las sociedades involucradas, además de por la lógica original y muy particular de su organización social en clanes y tribus. Con la conquista española, en general, la estrategia de ocupación prehispánica del territorio sufre un cambio extremo, motivado por un nuevo orden exógeno impuesto sobre las poblaciones asentadas originalmente. España se establece tanto en áreas ocupadas con anterioridad como en nuevas zonas descubiertas del territorio conquistado, levantando nuevas estructuras basadas en un núcleo nodal que serían los centros urbanos; desde allí se ejercería el poder sobre las poblaciones y sus alrededores. Así, rápidamente, cada nuevo centro de cada ciudad se transforma en espacio público del nuevo régimen que refleja escenarios que poco a poco muestran los emblemas característicos de las ciudades coloniales. Por ejemplo, las plazas, donde se administra la producción del campo que consumirá la nueva ciudad, se gestiona la recolección de impuestos, entre otras características.

Las riquezas acumuladas en las ciudades atraían las relaciones políticas, económicas, culturales y religiosas; esta última, la religiosa, afianzaba los sistemas de dominación y explotación, contribuyendo a la durabilidad de la

red urbana. Progresivamente, la presencia de la Iglesia en los nuevos núcleos urbanos y parroquias rurales asienta el poder de los obispos, curatos y misiones, adquiriendo estos lugares rasgos más teocráticos, situación que llegó a ser un común denominador en las ciudades y centros poblados. El templo con su campanario siempre se sitúa en un lugar primordial de las ciudades coloniales latinoamericanas, generalmente en el centro (Zambrano y Bernard, 2014). Las ciudades hispanoamericanas estuvieron determinadas por la interdependencia de una metrópoli cada vez más distante, por la dicotomía entre la urbanización y las actividades del campo, organizadas a partir del latifundio, que se caracterizaba por ser controlado por un único propietario que residía en el sector urbano y que servía de extensión de la ciudad para la adaptación de las poblaciones originales a la cultura impuesta y ser utilizadas como fuerza de trabajo.

Las ciudades latinoamericanas han seguido morfologías que han sido marcadas por las Leyes de Indias de la época de la colonia. Las fundaciones fueron los orígenes de nuevos centros urbanos con características iniciales de la época, su crecimiento posterior no mantuvo los patrones morfológicos de su fundación, siendo los patrones de crecimiento posteriores derivados de los asentamientos de una población creciente los que definirían las nuevas expansiones.

En los años 60 buena parte de las ciudades de América Latina dispararon su crecimiento, en gran medida bajo procesos de construcción informal y de industrialización que cada vez demandaban más infraestructuras. Los cambios radicales llevan a épocas de progreso y modernidad con conceptos arquitectónicos y de planificación ideales reflejados en las propuestas espaciales de entonces, a tal punto que, en los años 70, las ciudades latinoamericanas eran de las más modernas en el mundo por la rapidez de

sus transformaciones en todos los órdenes. Con la misma fuerza, en la década de los años 80 se produce un periodo de deterioro urbano y segregación social acompañado de regímenes políticos que retornaban a la democracia después de conflictos armados internos, donde las ciudades latinoamericanas adquieren más importancia política. A finales de los años 90, con una globalización impuesta por los poderes petroleros, los gigantes asiáticos y el capitalismo, las grandes ciudades intentan adaptarse a la competitividad global a través de reconstrucciones intensivas en urbanismo, arquitectura, cultura, infraestructura, equipamiento y economía (Brand, 2011).

Según Abramo (2012), las ciudades modernas latinoamericanas funcionan bajo tres lógicas: del mercado, del Estado y de la necesidad. La lógica de la necesidad es la que mueve las acciones individuales y colectivas que han llevado a crear las ciudades y/o sectores populares. La creación de esta parte de la ciudad sigue un ciclo casi repetitivo en el tiempo y en las diferentes regiones: ocupación, autoconstrucción, auto urbanización y, posteriormente, la consolidación de los asentamientos informales. Sin embargo, la lógica del mercado se combina con la necesidad y, consecuentemente, se manifiesta en el mercado informal del suelo, convirtiendo al mercado en el mecanismo del control del uso del suelo. Ante esta afirmación, las estructuras y formas de las ciudades latinoamericanas son particulares y características de la región, una morfología híbrida comparada con los modelos de las ciudades modernas “modelo mediterráneo – ciudad compacta” y el “modelo anglosajón – ciudad difusa”.

El crecimiento acelerado, confuso y desmedido de la mancha urbana bajo los modelos de ciudad híbridos de Latinoamérica, ha provocado que los característicos centros históricos se confundan entre las diferentes

morfologías desarrolladas a través del tiempo. Además, ese crecimiento acelerado se ha visto acompañado de una planificación poco enfocada a un proyecto urbano sostenible, que llevan a las ciudades a desarrollarse en territorios poco articulados con altos costos de urbanización, en un marco económico y social adverso que es muy característico en la región (Miranda, 2017). Así mismo, las modificaciones demográficas drásticas, las economías y los cambios en los ambientes y paisajes urbanos, modifican los estilos de vida de las urbes latinoamericanas (Shmelev y Shmeleva, 2009).

La distribución espacial contemporánea de América Latina podría estar vinculada a la continuidad de espacios urbanos precolombinos y al efecto de grandes migraciones internacionales que se derivan en urbanización a finales del siglo XIX. En todo caso, la distribución espacial actual de las ciudades es producto de procesos desarrollados en las etapas más recientes sucedidas en la región y en particular en cada país (Lattes, 1995).

Para De Mattos (2010), las metrópolis de las ciudades de América presentan una metamorfosis dirigida y estimulada por la etapa capitalista. Los territorios abarcan manchas urbanas desbordadas que generan poli-centralidades sin límites de fronteras claras, que, combinadas con las condiciones económicas de la región, dan opciones a seguir ciertas tendencias en el sistema urbano como:

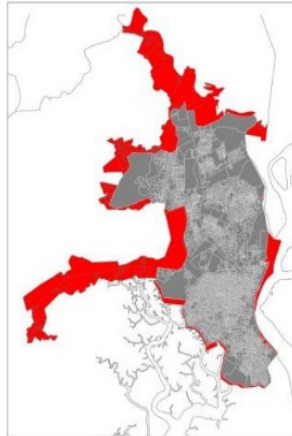
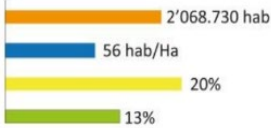
- la transición de ciudades metropolitanas a regiones urbanas transfronterizas (ciudades argentinas, brasileñas y mexicanas);
- el crecimiento de las ciudades desde el área central hacia la periferia que es conocida como un crecimiento tradicional (Bogotá, Lima, Quito y Santiago de Chile), y;
- la difusión de centros urbanos secundarios alrededor de las ciudades grandes, concurriendo en la ocupación del suelo entre las localidades.

4.2.1. La expansión de las ciudades ecuatorianas y los métodos para su medición

El proceso de expansión de las ciudades ecuatorianas, en la mayoría de los casos, ha roto sus morfologías originales comprometiendo administraciones territoriales colindantes. Las metrópolis Quito y Guayaquil están en transición de convertirse en ciudades regionales transfronterizas. En este sentido, al comparar el crecimiento de la mancha urbana y la tasa de crecimiento poblacional entre el periodo 2001 – 2010 de 19 ciudades ecuatorianas, categorizadas con base en su tamaño como; metrópolis (Quito y Guayaquil), ciudades grandes (Cuenca, Santo Domingo, Machala, Durán, Portoviejo, Manta) y ciudades medianas (Ambato, Loja, Esmeraldas, Riobamba, Quevedo, Ibarra, Milagro, Santa Elena, Babahoyo, La libertad y Rumiñahui); se ratifica que las metrópolis se están expandiendo de forma descontrolada hacia las periferias y, a menor nivel, pero a ritmo significativo, las ciudades grandes y medianas. Mientras que la expansión espacial de las ciudades más pequeñas que las mencionadas, todavía se mantienen por debajo del crecimiento poblacional (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). De las 19 ciudades comparadas, 11 padecen de un crecimiento urbano periférico de baja densidad e insostenible. En la Figura 33, se aprecia la evolución de la mancha urbana y el crecimiento poblacional de cada una de las ciudades, exponiendo las cifras más alarmantes de las ciudades de Guayaquil, Loja y Esmeraldas.



Quito



Guayaquil



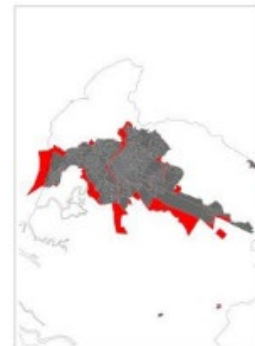
- Mancha urbana al año 2001
- Mancha urbana al año 2010
- Población Amanzanada (2010)
- Densidad Poblacional hab/Ha (2010)
- % Crecimiento Poblacional (2001 - 2010)
- % Crecimiento Área (2001-2010)



Cuenca

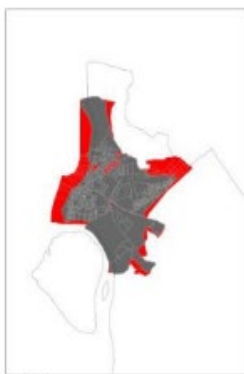


Santo Domingo



Machala





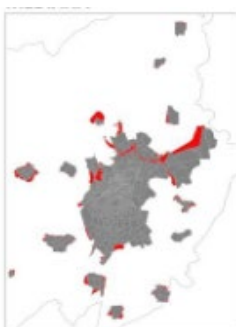
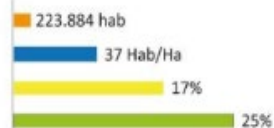
Durán



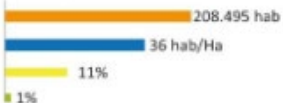
Portoviejo



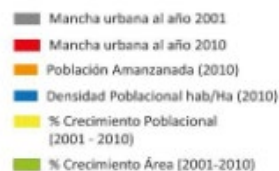
Manta



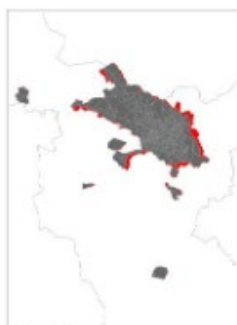
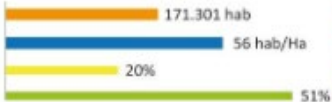
Ambato



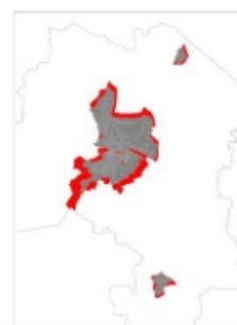
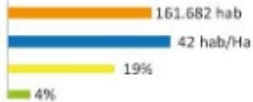
Loja



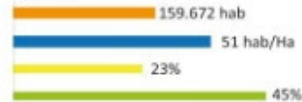
Esmeraldas



Riobamba



Quevedo



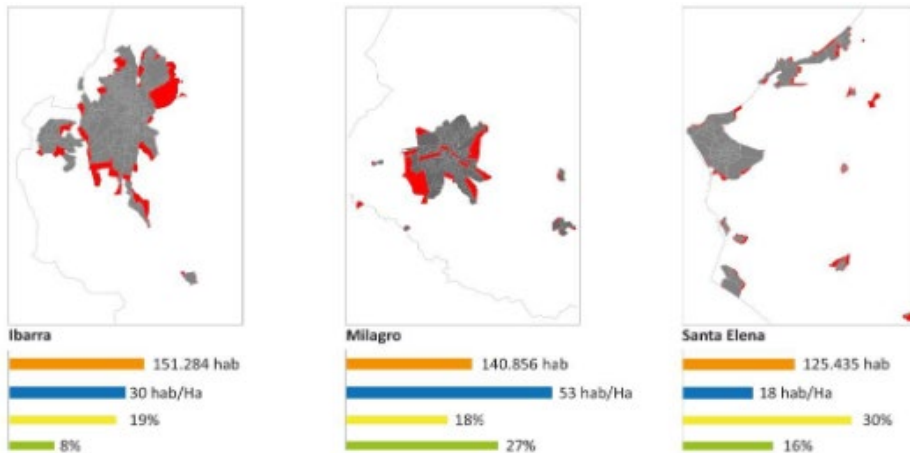


Figura 33. Evolución de la mancha urbana y crecimiento urbano periférico.

Principales ciudades de Ecuador.

Fuente: información tomada del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015

En Ecuador, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) son las entidades que conforman la organización territorial del Estado, regulados por la Constitución de la República del Ecuador (Art. 238 – 241) y el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomías y Descentralización (COOTAD). Los GAD son instituciones descentralizadas que gozan de autonomía política, administrativa y financiera, y están regidos por los principios de solidaridad, subsidiariedad, equidad, interterritorial, integración y participación ciudadana. Están organizados en: GAD Regionales, GAD Provinciales, GAD Cantonales y GAD Parroquiales (CEPAL, 2020).

Territorialmente, el Ecuador se organiza por regiones, provincias, cantones y parroquias rurales. Basados en casos especiales por situaciones de conservación ambiental, étnico culturales o de población, se forman regímenes especiales de gobierno como: distritos metropolitanos autónomos (Quito y Guayaquil), circunscripciones territoriales de pueblos y

nacionalidades indígenas, afroecuatorianas y montubias y la provincia de Galápagos (Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización [COOTAD], 2010). Estos niveles de organización territorial, por sí solos no constituyen un nivel de gobierno, son la circunscripción territorial en donde los GAD ejercen sus competencias, es decir, cada circunscripción territorial tendrá un GAD para la promoción del desarrollo y la garantía del buen vivir.

Consecuentemente, los GAD municipales tienen toda la responsabilidad de controlar la expansión urbana en el marco de las regulaciones urbanísticas y del suelo que tienen bajo su competencia, así como garantizar el ordenamiento territorial, planificación urbana y gestión del suelo. No obstante, la institucionalidad de estos GAD es débil, está fragmentada y su capacidad limitada no permite construir bases firmes para planificar ciudades sostenibles. En general, los municipios pequeños, los más vulnerables ante la falta de institucionalidad, no presentan escenarios alarmantes, mientras que los GAD medianos y grandes (incluyendo las metrópolis) son los más afectados.

La problemática de que la expansión de las ciudades ecuatorianas se desarrolla bajo condiciones desfavorables para la sostenibilidad en general, se ahonda con la falta de estimaciones futuras de la posible evolución de la mancha urbana. Según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2015) es muy difícil que los GAD Municipales ejerzan sus obligaciones sin asistencia técnica del gobierno central, dificultando el ordenamiento territorial y el emprendimiento de estrategias de planificación, desarrollo y gestión, más aún si estas involucran dos o más cantones. Ello se debe a que no existen figuras legales asociativas, políticas administrativas entre entes territoriales que aborden de forma integrada la urbanización.

Es así que las ciudades ecuatorianas no implementan métodos oficialmente publicados de medición de la expansión de la mancha urbana ni sus escenarios futuros.

4.2.2. La ciudad de Quito y su expansión.

Desde la formación de las poderosas confederaciones, como la Confederación de Quito y posteriormente como ciudad capital de la República del Ecuador, la ciudad de Quito sufre importantes transformaciones que hasta cierto punto llegan a ser mutaciones significativas en lo que se refiere a su ocupación espacial histórica (mancha urbana). Enrique Ayala Mora, investigador ecuatoriano, en una de sus obras sobre la Historia del Ecuador detalla que:

“Los arqueólogos han trabajado mucho en un esfuerzo de periodización de esta época, enfatizando criterios de ocupación espacial y avances en la producción de artefactos. Se ha establecido de ese modo la secuencia: Precerámico, Formativo, Desarrollo regional e Integración, (...), desde la ocupación territorial originaria hasta pueblos en donde se dio el desarrollo del Estado.” (Ayala, 2008:8).

El estudio de la herencia de la ocupación espacial de épocas anteriores en el Ecuador, revela la forma de asentamientos actuales de algunas comunidades nativas ecuatorianas, las cuales residen en lugares todavía hoy alejados, y que en algún momento debido a la tendencia actual de crecimiento podrían ser conurbadas por ciudades metropolitanas. Como consecuencia, estas modificarían los patrones de comportamiento urbano rural, la planificación y sustentabilidad de la partes afectadas (Montoya, 2004).

Más allá de cambios evolutivos secuenciales en el crecimiento urbano de la ciudad de Quito, la Revolución Liberal y el proceso de modernización capitalista del Estado y la sociedad civil producidos entre 1895 y 1980 marcan la expresión de una evolución particular de la mancha urbana de la ciudad, acompañada de una crisis en el proceso urbanístico y de organización territorial. La integración entre los Distritos Metropolitanos de Quito y Guayaquil modifica la relación que hasta entonces se conocía entre el campo y la ciudad ya que se adopta el modelo agro exportador de la plantación costera (Guayaquil) para atraer divisas a la hacienda serrana (Quito) para el mercado interno de base urbana; definiendo así, el modelo de urbanización del Ecuador. Este fenómeno trae consigo modificaciones a escala nacional en aspectos como el aumento de cifras de nacidos vivos, comercio, industria, formaciones de capital bancario y acumulación de urbanización periférica.

En el Ecuador la formación económica social determinó la dinámica de urbanización dentro de un modelo de acumulación capitalista a nivel mundial, es decir, que la formación y consolidación de las ciudades se determinan por los fenómenos económicos, sociales y políticos que responden a los diferentes modelos de acumulación.

El DMQ es un caso mutante y paradigmático que reúne las características de muchas ciudades a nivel global. La evolución morfológica de la ciudad de Quito abarca en su historia tres modelos urbanos en diferentes etapas. El modelo concéntrico, el cual destaca los elementos patrimoniales (centro histórico), así como la concentración de servicios y funciones de poderes. El modelo lineal corresponde a la década de los años 70 de modernización e industrialización y, a la vez, de segregación socioeconómica. El modelo disperso, experimentado hasta la actualidad (2022), se caracteriza por una

expansión caótica de las periferias en zonas rurales, lo que revela la falta de control en el desarrollo urbano. El traslape de estos modelos urbanos configura a Quito como un sistema complejo con crisis urbana y territorial (Carrión, 2012).

Se podría entender el crecimiento de la ciudad de Quito en varias etapas, que por sus eventos son trascendentales.

- Primera etapa: el emplazamiento inicial de la ciudad a partir de 1537 fue en lo que hoy se conoce como Centro Histórico de Quito. La morfología urbana en este sector se caracterizó por ser el origen de la ciudad expansiva.
- Segunda etapa: a partir del año 1888 la tendencia expansiva de la ciudad se orienta hacia el norte, lo que hoy se identifica como el centro norte de la ciudad.
- Tercera etapa: en el año 1959 comienza a ocuparse el suelo al sur del centro urbano (Centro Histórico) de la misma manera expansiva.
- Cuarta etapa: desde el año 1970, bajo las tendencias de entonces, se identifica un eje central longitudinal que se consolida durante los siguientes nueve años.
- Quinta etapa: a partir del año 1979 y durante los siguientes 36 años, se experimentó un acelerado crecimiento urbano desordenado, extendiéndose la ciudad hacia las periferias y hacia los valles orientales de Chillos, Cumbayá y Tumbaco.
- Sexta etapa: a partir de 2005, la construcción del nuevo aeropuerto en el nororiente de la ciudad, sector de Tababela, acelera aún más la expansión hacia las localidades cercanas, absorbiendo el suelo no ocupado en esa orientación.

Según el Instituto de la Ciudad de Quito (2018), el DMQ cada diez años aumenta un promedio alrededor de 400.000 personas, gran parte debido a la atracción de migración que experimenta la capital. La dinámica particular urbana de la ciudad, producida principalmente por la configuración espacial, ambiental y ecológica, ha generado economías de aglomeración. Por un lado, atrae externalidades positivas como: importantes mercados, trabajo y economías de escala; y, por otro lado, polariza externalidades negativas que se generan principalmente en torno al crecimiento de la ciudad provocando fragmentación, congestión y contaminación ambiental. Así mismo, las fuerzas opuestas de dispersión implican la ampliación del espacio urbano. En la Figura 34 se expone el análisis y evolución del crecimiento espacial de Quito, bajo tres lógicas de desarrollo urbano corroborado por el Instituto de la Ciudad de Quito:

- Concéntrica: se produce hasta mediados del siglo XX y entre sus ventajas destacaban la aglomeración de servicios y funciones administrativas, económicas y religiosas; las externalidades negativas surgen de la segregación étnica y social.
- Longitudinal: este tipo de crecimiento se produce hasta finales de los años 80 y se caracterizó por la facilidad de acceso al empleo y cercanía a la infraestructura, sin embargo, la contaminación y congestión impactaron en la reducción de la calidad de vida.
- Dispersa: hasta la actualidad (2022), la ampliación del espacio urbano y caracterización de la ciudad como diversa en su configuración espacial, ambiental y ecológica han sido los aspectos positivos generados; pero en el mismo sentido, las áreas de trabajo son menos accesibles, los tiempos de desplazamientos aumentaron y se ha reducido la reserva del suelo agrícola (conurbación – rururbanización).

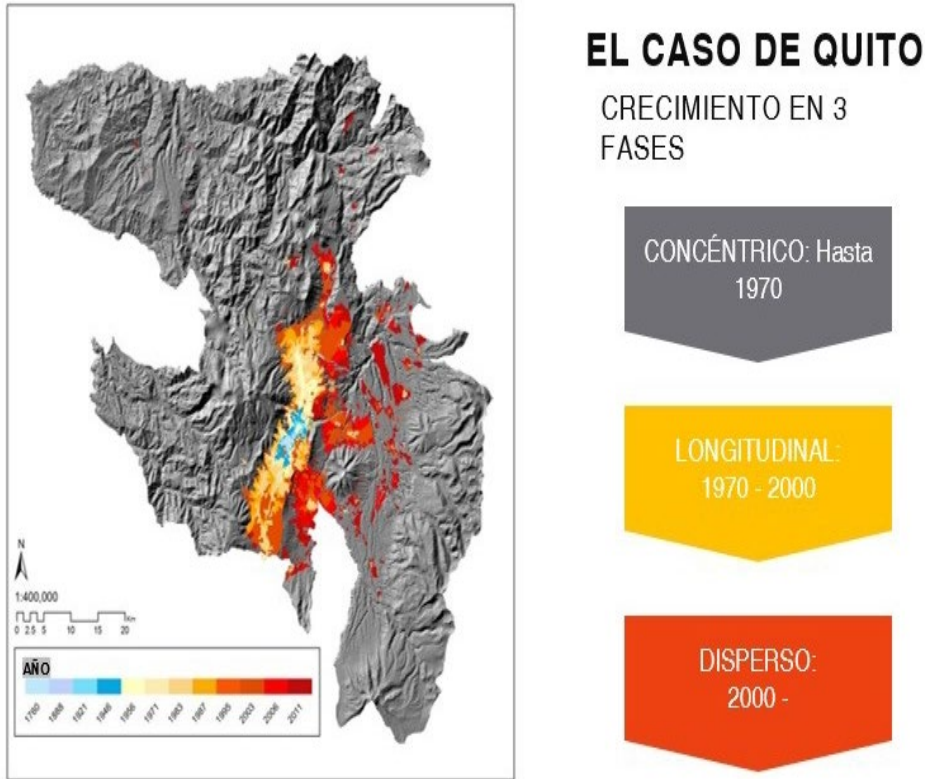


Figura 34. Crecimiento en tres fases de Quito.

Fuente: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda del DMQ. 2019.

Cabe resaltar que la administración de la ciudad de Quito a través de sus designaciones competentes, realiza solamente el seguimiento y análisis del crecimiento poblacional y expansión urbana, una vez sucedido. De manera oficial no se registra ninguna herramienta o sistema que monitoree la expansión urbana espacial a través de proyecciones o simulaciones de nuevos asentamientos. Las únicas proyecciones en las que se basan para elaborar los informes oficiales son las proyecciones de las tasas de crecimiento de la población y datos de densidad poblacional calculados a partir del último censo nacional, en el caso de Quito, el censo de población y vivienda del Ecuador de 2010.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

CAPÍTULO 5

5. LOS MODELOS DE CRECIMIENTO URBANO.

La representación de los procesos urbanos a través de modelos ha sido tema de intenso estudio por parte de expertos dedicados a esta materia, que lo han abordado desde enfoques tanto teóricos como matemáticos. En este apartado se resalta la importancia y el impacto que los modelos matemáticos ejercen sobre los modelos teóricos al ser combinados.

5.1. El modelamiento espacial de procesos de crecimiento urbano.

Para Batty (1976), un modelo espacial urbano permite entender los cambios morfológicos espaciales de una zona urbana a través del tiempo. Además, considera que deber ser lo suficientemente flexible para ser calibrado, validado y verificado; de esta forma, los resultados serán tanto confiables como aceptables.

Los modelamientos urbanos contemporáneos se basan en su mayoría en simulaciones asistidas por computadora. Una de las grandes ventajas del uso de “*software*” cada vez más especializado para el diseño de estos modelos es que brindan una visión más entendible de los sistemas complejos multivariados de la urbe y sus periferias.

5.1.1. Los modelos teóricos y espaciales.

Los primeros trabajos que se asisten de herramientas matemáticas para explicar fenómenos geográficos aparecen alrededor de los años 50, y se convierten rápidamente en los medios más utilizados en experimentos sobre la sociedad y los sistemas físicos; sin embargo, para entonces resultó complicado encontrar teorías y modelos lo suficientemente robustos para establecer metodologías comprobables y verificables. La clave para relacionar los elementos sociales y físicos radicó en incluir temas relacionados con las Ciencias Sociales combinados con los modelos matemáticos (Heppenstall et al., 2011).

Para la geografía y el urbanismo, los cambios radicales de los usos del suelo a escala mundial ocurridos durante la segunda mitad del siglo XX y los avances tecnológicos de la época, condujeron hacia investigaciones que incluían variedad de campos científicos como la sociología urbana, la economía urbana y regional, así como la geografía económica y urbana (Briassoulis, 2000).

En el ámbito de la geografía destacan varias teorías que son utilizadas para explicar algunas funciones urbanas dentro de un sistema de ciudades, como la de los lugares centrales formulada por Walter Christaller, que explica las configuraciones económicas y espaciales de un entorno, así como la relación entre el tamaño de los núcleos urbanos y la distribución de elementos con base a su área de influencia (Berry et al., 2006)

Para (Korcelli, 1982), la relación entre la ubicación en el espacio, la interacción social espacial y la noción de accesibilidad representan las bases para el desarrollo de nuevos modelos teóricos y modelación espacial.

En los años 60, las teorías, conceptos y metodologías urbanas giran en torno a las nuevas tendencias del uso del suelo y a su constante transformación, convirtiendo la localización de las actividades humanas en temas neurálgicos para la geografía. Consecuentemente, esas investigaciones apuntaron hacia enfoques regionales y sociales para explicar la organización espacial del territorio. Sin embargo, las hipótesis generadas fueron expuestas en términos cualitativos y descriptivos, con ausencia de componentes matemáticos que sustentaran con mayor precisión y de mejor manera los fenómenos estudiados (Bosque y Moreno, 2004).

Innumerables aportaciones incluyen nuevos enfoques provenientes de otras disciplinas como la planificación territorial y las Ciencias Naturales. Batty (1976) considera que Alonso (1964) es posiblemente uno de los primeros autores que dan forma a la “nueva economía urbana” dado que éste había representado modelos y metodologías basados en la interacción espacial de la física social y de modelos macroeconómicos. No obstante, Lowry (1965) destaca que los primeros modelos urbanos abordan al fenómeno urbano como un sistema estático auto-equilibrante, dejando a un lado las dinámicas y factores que afectan el comportamiento de las urbes.

Forrester (1969) explica que la evolución de los modelos espaciales urbanos radica en la implicación de diferentes ciencias complementarias para su estudio, además de comprender que cada región se caracteriza por sus propias elecciones de ocupación residencial. Una recopilación complementaria sobre este tema se puede encontrar en el libro titulado *Dinámicas Urbanas* del mismo autor.

5.1.2. Evolución de los modelos espaciales urbanos.

Las teorías de los sistemas urbanos por sí solas no explican la disparidad y complejidad de las ciudades modernas, el concepto de “ciudad” cambia según las nuevas dinámicas urbanas. Desde este punto de vista, Whitehead (1968) sostiene que para aclarar fenómenos difíciles de interpretar se debe traspasar la frontera de su ciencia, por lo tanto, propone que se aborde un espectro más amplio del conocimiento que incluya múltiples disciplinas y campos científicos que se relacionen.

A comienzo de los años 70, los enfoques urbanos teóricos (tradicionalistas y estáticos), giran hacia nuevas dinámicas más sofisticadas. La generación de datos a partir de estas nuevas tendencias se incrementa de manera exponencial, a tal punto de comprometer los procesamientos, controles y validaciones manuales de los nuevos modelos. Esta tendencia es, claramente, opuesta a la de la economía urbana tradicional y a la física social aplicadas antes de los años 70, dando un paso hacia el posmodernismo y relativismo (Batty, 1976).

Los nuevos modelos urbanos incorporan métodos numéricos que permiten explicar la espacialidad sobre un territorio. Burton (1963) introduce el lenguaje matemático en la geografía provocando que esta ciencia brinde una realidad apegada a las necesidades de los individuos y a los agentes que la determinan. Por lo tanto, según Bosque (2004), los modelos en ese momento son más precisos y de mayor valor. Para Wrigley (1965), el uso técnicas estadísticas ejercen una fuerte atracción sobre la resolución de problemas en la geografía.

Para Santos (1990), la variedad de enfoques y variables que se habilitan para analizar cuantitativamente el cambio de usos del suelo y el crecimiento urbano, demandan cada vez más el soporte de la tecnología informática para

procesar los cálculos matemáticos. Ello hace que la informática se convierta en uno de los pilares de la llamada “Revolución Cuantitativa” de la geografía y que dé paso a la posibilidad de construir modelos más evolucionados y complejos. En la actualidad, parece no estar limitada la aplicación de enfoques solamente cuantitativos; se pueden integrar con más facilidad otros factores más cualitativos y heurísticos, reconsiderando las nuevas teorías económicas, las nuevas físicas sociales y las nuevas tendencias de vivienda.

5.1.3. Modelos de dinámicas de ocupación territorial.

El modelo de Lowry (1964), diseñado como un modelo integral e implementado para la ciudad de Pittsburg (Estados Unidos de Norte América), fue uno de los primeros en tratar de representar la estructura de un sistema urbano. Fue construido con base en tres factores espaciales: sector residencial, sector comercial y el sector no local que incluía comercios, administración e industria. Además, se sirvió de modelos gravitacionales y de autómatas celulares para su implementación (Hansen, 1959). Así mismo, es preciso mencionar que los “*Models of Innovation Diffusions*” de Hägerstrand (1967) fueron construidos a partir de la teoría general de sistemas que, en los años 50, ya incluía términos de geosimulación y dinamismo; además, eran considerados modelos de buena predicción pero, sobre todo, se aproximaba a los fenómenos como procesos colectivos. Desde entonces, el modelado urbano es sinónimo de modelado de dinámicas urbanas o “*stocks and flows*” (Benenson, 2004).

Forrester (1969) en su libro “*Urban Dynamics*”, aplica los conceptos, estructuras y relaciones de los sistemas naturales al dinamismo urbano, destacando las retroalimentaciones positivas, o entradas (*inputs*), como el componente esencial del comportamiento complejo que mantienen los

sistemas urbanos. Explica, también, que un sistema urbano es dinámico y está cambiando constantemente por leyes que dominan el sistema, a través de factores que ejercen presión y resistencia (políticas, regulaciones, economías, entre otras). De esta manera, el autor sostiene que la dinámica de la ciudad no debe ser analizada bajo un esquema estático, sino dinámico.

Décadas después aparecen teorías similares, por ejemplo, la publicación de Portugali (2000), "*Self-Organization and the City*", que propone la integración de la noción de auto-organización, de teorías socio-culturales de ciudad y del urbanismo; la obra de Allen (1997) que incorpora factores aleatorios a los modelos, y la de Wilson (2000) quien añade modelos de interacción espacial multivariable y análisis no lineales.

Tratar de explicar los sistemas complejos, que cada vez toman formas más complicadas, implica utilizar alternativas más eficientes para obtener mejores resultados. Por ejemplo, la aplicabilidad de la teoría de sistemas a las dinámicas urbanas implica, por un lado, reducir al máximo las variables explicativas con la finalidad de sintetizar la complejidad y facilitar la interpretación del modelo y, por el otro, ignorar las complicaciones y tratar de modelar los sistemas urbanos tal cual se perciben en la realidad esperando que el proceso numérico y lógico, apoyado con procesos informáticos, refleje los escenarios reales de la dinámica urbana.

Batty (1976), en su libro "*Urban Modelling: Algorithms, Calibration, Predictions*", realiza una revisión bibliográfica sobre los enfoques que fueron empleados en los años 70 y 80, teniendo en cuenta tanto los conceptos como los modelamientos de las dinámicas reales de las ciudades. Este periodo se caracterizó por una lluvia de críticas hacia la geografía y sus teorías, y hacia los modelos teóricos y matemáticos planteados entonces. Todo ello causó que algunos modelos urbanos espaciales "*stocks and flows*"

(población, economía, morfología del suelo, servicios, etc.) de entonces siguieran sin reconocimiento hasta mucho tiempo después.

El fenómeno urbano y el cambio de usos del suelo han sido modelados con base en la economía y en modelos dinámicos no lineales de la ecología, enfocados en la competencia entre las diferentes segregaciones sociales y la ocupación del espacio disponible, que tienen interpretaciones urbanas directas a lo largo del tiempo. Sin embargo, la forma de estudiar los sistemas urbanos, en términos de la Teoría de Sistemas, siempre ha tenido que abordarse desde la simplicidad a la complejidad. Consecuentemente, el análisis lineal y autónomo pierde fuerza mientras crecen las evidencias de que las interacciones de este tipo de fenómenos son no lineales, ya que el espacio geográfico para usos urbanos es limitado y las ciudades son altamente dependientes de este. Es por esta razón, que los dinamismos urbanos no pueden ser concebidos y explicados en sistemas lineales (Senge y Forrester, 1980).

Por ejemplo, el modelo expuesto por Dendrinos y Mullally (1985) se basa en la premisa de que si una población aumenta, consecuentemente la economía de la localidad/ciudad baja, situación expresada por las conocidas ecuaciones diferenciales formalizadas por Volterra (1926) de predador–presa (dinámica ecológica). En su aplicación a la dinámica urbana se considera el tamaño de la población como el predador y el ingreso per cápita como la presa. Otros enfoques publicados se basan en el mismo principio pero apuntan a la población como la presa y al precio de suelo como el predador (Orishimo, 1987).

5.1.4. Modelos Regionales (Espaciales – *Stocks and Flows*).

Con base en los modelos de Forrester (1969) (no espacial) y Lowry (1964) (espacial), la dinámica y la evaluación no lineal conjugadas con mecánicas espaciales se convierten en parte esencial de las nuevas tendencias para los estudios desarrollados desde los años 70. Destacan los nuevos enfoques adoptados y conocidos como “Regionales”, y que se entienden como representaciones geográficas basadas en la concepción de variables explicativas “*stocks*” (población, economía, morfología del suelo, servicios, etc.) y “*flows*” (transporte, migración).

Los modelos “*Stock and Flows*” explican el dinamismo urbano basado en las circunstancias que rigen en cada región. Bajo esta lógica, las regiones son caracterizadas por los “*stocks*”, y por las acciones antrópicas implicadas; los “*flows*” por su lado, tratan de explicar los fenómenos de intercambio entre regiones. El planteamiento y la conjugación de estos elementos y parámetros afectan a la complejidad del modelo y a todos los posibles escenarios prospectivos (Dendrinós y Sonis, 2012). Es preciso mencionar que una aplicación directa de los “*Stock and Flows*” es la contribución de Andersson et al. (2012), que profundiza en las teorías de migración interregional.

La concepción de numerosas teorías socio-espaciales en sociología, economía, ciencias políticas y específicamente en las ciencias espaciales, como la geografía urbana y regional, establece una estrecha relación entre estas ciencias. Una explicación más profunda la detalla Wilson (2000) en su libro “*Complex Spatial Systems*” y Weidlich y Haag (2012) en la obra “*Concepts and models of a quantitative sociology: the dynamics of interacting populations*”, pues contienen una amplia referencia bibliográfica de libros y artículos contemporáneos sobre esta temática. Otro ejemplo

relevante es la investigación de O'Neill (1985) con su aporte “modelo de difusión”; describiendo un modelo espacial que caracteriza los “*Black Guettos*” de la ciudad de Chicago (Estado Unidos de América) entre los años de 1968 y 1972. En este modelo se representa el crecimiento y la distribución urbana asumiendo una simetría radial de distribución y un crecimiento logístico (Benenson, 2004).

5.1.5. Complejidad en los modelos espaciales.

En los años 60 e inicios de los 70 se diseñaron innumerables investigaciones teóricas de modelos regionales que se aplicaron en las realidades de entonces, ignorando la magnitud de la complejidad que podrían adquirir posteriormente.

El artículo de Lee (1973) “*Requiem for Large-Scale Models*”, mencionado por Michael Batty (2014), Garau (2014) y Benenson y Torrens (2004), genera críticas acerca de las inexactitudes que afectarían a los modelamientos de los fenómenos urbanos, sobre todo aquellos que se encuentran bajo la Teoría de Sistemas; los autores enuncian temas como el de la “sobre-comprensión” de los modelos, el uso excesivos de variables explicativas y restricciones que puede crear un sistema insaciable y menos flexible a errores, llevándolos a ser incomprensibles. También menciona las implicaciones que tiene la práctica de ajustar los resultados hasta que sean los más “adecuados” según las necesidades de sus creadores. Las críticas de Lee (1973) abrieron camino a la evolución de la modelización urbana.

Otros modelos de referencia no lineales urbanos construidos bajo supuestos similares son los de Chapin y Weiss (1965) en Carolina del Norte (EEUU) y el modelo de Goldner (1968), “*Bay Area Projective Land Use*” (PLUM),

en los cuales se aplican enfoques diversificados desde regresiones lineales hasta programación matemática (Batty, 1976).

5.2. Geopronóstico espacial.

Los avances tecnológicos en la ingeniería de la computación y la utilización de “*software*” cada vez más sofisticados, han revolucionado la noción geoespacial en el levantamiento y gestión de información, en especial la información espacial. Las malas referencias y críticas a los primeros modelos urbanos por considerar solamente dinámicas lineales, potenciaron el diseño de herramientas de gran valor para el modelaje urbano y simulación por computadora que en la actualidad se ocupan (2020 – 2022).

En la actualidad, las representaciones y prospecciones del fenómeno urbano se desarrollan con geosimulación del mundo real. Para ello, se apoyan en Sistemas de Información Geográfica (SIG), programación de inteligencia artificial, sistemas automáticos, teledetección y servidores de bases de datos en tiempo real (Harris, 1994; Brömmelstroet et al., 2014).

5.2.1. Geosimulación de información espacial

La geosimulación se ha enriquecido con la construcción de modelos espaciales y el diseño basado en información geográfica, que permite explicar cómo funcionan los fenómenos que ocurren sobre el territorio y los posibles escenarios geográficos, que, en el caso de esta investigación, se refiere a las dinámicas urbanas. A diferencia de una simulación convencional, la geosimulación tiene como principio representar geográficamente el comportamiento de los diferentes elementos que

interactúan espacialmente, como personas, edificaciones, paisaje o infraestructura vial; estos elementos tienen patrones característicos, y es por esta razón que a este tipo de modelos se los considera diseños computacionales complejos inspirados en la naturaleza (Holland, 1999).

Los avances en tecnología informática permitieron incorporar a la computación la geometría de la información plana espacial, métodos de digitalización y bases de datos que relacionan atributos con elementos espaciales. Todo ello conforma sistemas integrales robustos que manejan las interacciones espacio – tiempo de los elementos que los integran.

El término SIG (Sistema de Información Geográfica) fue introducido por Tomlinson en 1963; no obstante, su propagación se produce a finales de los años 70 y comienzos de los años 80 (Longley, 2003). Los SIG aportan la capacidad de representación visual de la información y la funcionalidad de crear, construir y administrar bases de datos geográficas (Maruyama y Thapa, 2011),

El análisis espacial en un ambiente SIG complementado con análisis estadístico tradicional facilita el cálculo de áreas, distancias, densificaciones, centros de gravedad, volúmenes y otras medidas espaciales. Además, permiten entender las relaciones y patrones entre los elementos.

A la par del desarrollo de los SIG, las tecnologías asociadas a los sensores remotos satelitales (SRS) y teledetección, evolucionan y se configuran como una fuente de gran capacidad para la adquisición de datos. Finalmente, se debe tener en cuenta que estas tecnologías, son altamente codependientes, la combinación de los SIG, los SRS y la teledetección amplía el horizonte de aplicaciones y soluciones geográficas en el campo de la modelización urbana, entre otros.

5.2.2. Métodos espaciales actuales para estudios del análisis urbano.

Actualmente (2022) la geo-información y el geo-procesamiento ha experimentado una gran revolución; términos como la Inteligencia Artificial Geoespacial (IAG) se introducen en el mundo del análisis geográfico producto de los avances de la innovación y desarrollo en este sector. Existen tres tendencias que dan lugar a la IAG; la existencia de gran cantidad de datos geográficos, la expansión de los sensores remotos (satélites más precisos) y el aprendizaje automático (*machine learning*), acompañados del aumento exponencial de la potencia computacional.

Openshaw y Openshaw (2002) explican como las de técnicas y metodologías de la IAG, transforman la investigación y análisis geográfico. Estos autores mencionan principalmente a los sistemas expertos, redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, sistemas inteligentes y vida artificial, como las técnicas más destacadas.

Wu y Silva (2010), realizan una revisión de soluciones de inteligencia artificial y análisis espaciales ocupadas para estudiar el dinamismo urbano, en la Tabla 7, se expone un extracto de técnicas y metodologías que en la actualidad son de relevancia y amplio uso.

Tabla 7. Soluciones urbanas basadas en Inteligencia Artificial.

Soluciones	Técnicas y metodologías
Vida artificial	Autómatas celulares (AC)
	Modelos basados en agentes (MBA)
	Inteligencia de enjambre (<i>Swarm intelligence</i>)
Procesos inteligentes de optimización.	Algoritmos genéticos (AG)
Evolución computacional y ADN espacial.	Redes neuronales artificiales
	ADN espacial (<i>Spatial DNA</i>)
Sistemas inteligentes basados en conocimiento	Lógica <i>Fuzzy</i>
	Sistemas expertos

Fuente: elaboración propia a partir de Wu y Silva (2010)

Las **soluciones de vida artificial** son sistemas creados para representar y reproducir el comportamiento natural y dinámica de sistemas vivos. Por ejemplo:

- Los AC y MBA, han sido ampliamente utilizados en estudios urbanos. Si bien, en el siguiente apartado se detalla mejor a los AC, es preciso recalcar que, así como los AC presentan habilidad para desarrollarse en dinámicas espaciales, los MBA cuentan con habilidades destacadas en dinámicas no espaciales como en la toma de decisiones e interacciones de procesos sociales (dinámicas en ambientes socioeconómicos) (B. Matthews et al., 2007). Los MBA se utilizan como complemento de modelos espaciales urbanos con el objetivo de hacer que el modelaje sea más completo.
- La inteligencia de enjambre (“Swarm Intelligence”) introducida por Gerardo Beni y Wang Jing en 1989 (Beni y Wang, 1993), se basa en sistemas auto-organizados descentralizados fundamentados en

comportamientos colectivos de sistemas biológicos; aunque las aplicaciones en sistemas urbanos son limitadas, los algoritmos más utilizados son: (1) el algoritmo meta-heurístico de la colonia de hormigas, que se basa en el comportamiento de la población de estos insectos, aplicado como reglas de transición para los AC en el cambio de usos del suelo urbano y rural (Tien et al., 2007); (2) el algoritmo de optimización por enjambre de partículas, que se basa en la metaheurística del comportamiento de las partículas en la naturaleza, fue ocupado para la calibración de un modelo de crecimiento urbano basado en AC por Pinto (2006).

- Los procesos inteligentes de optimización son algoritmos de optimización que introducen elementos probabilísticos (Hesterberg, 2004). Por ejemplo:
- Los algoritmos genéticos tienen la capacidad de trabajar en problemas de optimización no lineales, este algoritmo busca soluciones óptimas basadas en mecanismos evolutivos de selección natural y genética natural; los algoritmos genéticos son uno de los métodos más utilizados en las decisiones de asignación de usos del suelo (J. H. Holland, 2019; K. Matthews, 2001) y toma de decisiones de planificación y crecimiento urbano (Al-Kheder et al., 2007; Semboloni, 2006).
- La **evolución** computacional son procesos inspirados en la evolución biológica. Dentro de esta solución se destacan:
- Las redes neuronales artificiales son conocidas por ser un mecanismo computacional basado en un conjunto de neuronas artificiales interconectadas que transfieren información; la capacidad de este mecanismo para resolver incertidumbres en situaciones complejas relacionadas con el uso del suelo ha sido de amplia aplicación en la

clasificación, agrupación y aprendizaje del comportamiento de la cobertura del suelo (Garrett, 1994;Pijanowski et al., 2002).

- El ADN espacial es una nueva tendencia para el análisis de la dinámica de procesos urbanos. Esta metodología complementa el enfoque espacial con un enfoque de evolución biológica; es un método adaptativo que se ajusta por sí solo a la realidad. Silva (2004) con este mecanismo establece las relaciones entre los ADN espaciales y los modelos urbanos, también analiza el efecto de los factores conductores en el crecimiento urbano.
- Los sistemas inteligentes basados en conocimiento son automatizaciones informáticas que imitan la toma de decisiones y razonamientos de criterios de expertos, como:
- La lógica difusa (fuzzy), introducida por Zadeh en 1965, determina el grado de pertenencia (decisiones complejas) a una clase o grupo basada en el cumplimiento de una premisa (Dragicevic, 2004); es una potente herramienta que se ajusta a la realidad e incluso alcanza a comprender y expresar cuantificadores de variables cualitativas para inferencias específicas; por ejemplo, en la expresión “arriba”, la lógica fuzzy puede determinar, “muy arriba”, “un poco arriba”, entre otras. Es una aplicación muy utilizada para analizar las clasificaciones de la cobertura del suelo (Oh y Jeong, 2002).
- Los sistemas expertos imitan la toma de decisiones de expertos en un tema específico. La clave de esta técnica es el conocimiento humano que se requiere para resolver problemas introducidos en una computadora (Sell, 1985). Las aplicaciones en dinámicas urbanas y usos del suelo se centran en la planificación urbana, la evaluación de usos del suelo y en la asignación y clasificación de uso y cobertura de suelos (Lee et al., 2008).

- Fuera de la esfera de IAG, los modelos estadísticos espaciales son cada vez más sofisticados y en la actualidad (2022) complementan los análisis geográficos en estudios urbanos, ente los más representativos se pueden nombrar los siguientes (ESRI, 2022):
- Detección de patrones, una técnica evolucionada de los tradicionales mapas de calor¹. Se basan en minería de datos, aprendizaje automático y estadísticas para encontrar grupos espaciales de datos o agrupaciones espaciales.
- Analítica de espacio – tiempo, técnica que integra la temporalidad de los datos con la dimensión espacial de modo que determina cuando y donde suceden las cosas e identifica las tendencias y patrones; además, permite hacer pronósticos espacio – temporales. Una variante de esta técnica es la analítica predictiva, la cual crea superficies de predicción utilizando técnicas de geoestadísticas.
- Por último, destacan los **modelos de idoneidad y optimización de ubicación**, los cuales se basan en algoritmos espaciales para encontrar la mejor ubicación, asignar recursos o satisfacer la demanda minimizando los costos.

El estudio del crecimiento urbano que aborda esta tesis se basa en el modelamiento simulado con autómatas celulares; por esta razón se incorpora a continuación una descripción más amplia de esta técnica.

¹ Mapa de calor es una técnica de visualización de datos que mide la magnitud de un fenómeno en colores en dos dimensiones

5.3. Autómatas Celulares (AC)

De forma general, según Sancho (2016) “Un autómatas celular es un modelo matemático para un sistema dinámico compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos estados o valores”. Los estados o valores de cada una de las celdas cambian de un momento a otro en periodos discretos de tiempo al aplicar una expresión matemática que considera tanto el estado de las celdas vecinas, como el estado de la misma celda que está por cambiar (reglas de transición local). Por ejemplo, en la Figura 35 se representa una disposición de AC bidimensional en tres tiempos (generaciones), con dos estados, negro o blanco, que ha evolucionado dos veces desde su estado inicial.

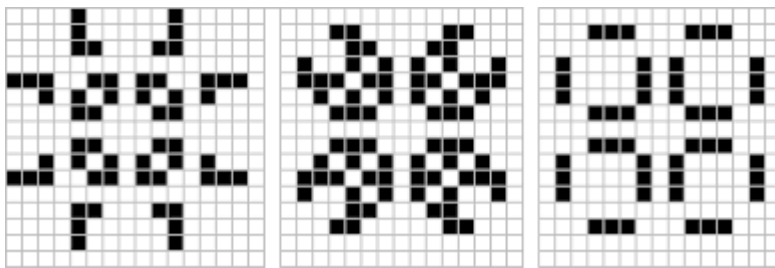


Figura 35. AC bidimensional con dos evoluciones o iteraciones y dos estados de celdas (blanco o negro).

Fuente: imagen tomada de <https://conwaylife.com/wiki/Pulsar>

Los elementos de cada celda son simples, pero en conjunto pueden representar patrones complejos modelados matemáticamente que, al evolucionar a través del tiempo, adquieren propiedades específicas por la dinámica local propia del sistema (Gómez, 2011). De esta forma, según la aplicación que se requiera abordar, los AC son capaces de desarrollar modelos específicos y simular sistemas complejos (Li y Yeh, 2001).

Los elementos básicos de un sistema de un AC de dos dimensiones son los siguientes (Figura 36):

- Arreglo o matriz: consta un plano regular de $n \times n$ dimensiones en el cual se producen las evoluciones, cada división homogénea de arreglo es llamada celda (célula).
- Estados: son un conjunto de variables booleanas finitas donde cada elemento o celda del arreglo toma un valor. Puede ser expresado en valores o colores o por expresiones.
- Configuración inicial: consiste en asignar un estado a cada una de las celdas del espacio de evolución inicial del sistema.
- Vecindades: es el conjunto contiguo de celdas adyacentes de cada celda.
- Función de transición local: es la regla de evolución que determina el estado de las celdas en el siguiente tiempo o generación, es decir, define la mecánica de interacción. También establece el patrón de cambio de estado de cada celda en función de los estados de sus vecinas e incluso de los estados anteriores de las células. Puede ser una expresión algebraica, ecuaciones, probabilidades, etc.

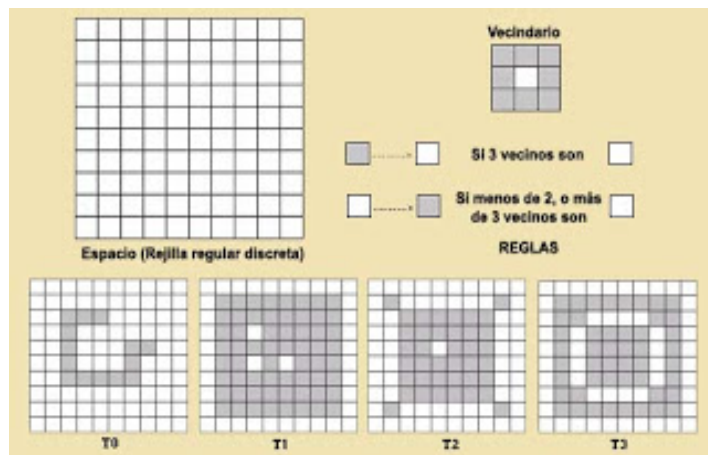


Figura 36. Elementos de un AC.

Fuente: imagen tomada de <http://wikipedialibre.blogspot.com/2009/05/automata-celular.html>

Uno de los ejemplos más destacados que muestra la dinámica de los AC es el conocido “Juego de la Vida”, diseñado por el matemático británico John Horton Conway en los años 70 (Garder, 1970). El juego se basa en un tablero de celdas, con un estado inicial cualquiera, como el de la Figura 35. Cada celda puede adquirir dos tipos de estado, viva o muerta; y, además, su vecindad considera las ocho celdas que se encuentran alrededor, incluyendo las diagonales. En cada iteración o turno (tiempo), todas las celdas se actualizan simultáneamente, siguiendo las siguientes reglas:

- Una celda muerta con exactamente 3 celdas vecinas vivas "nace" (es decir, en el turno siguiente estará viva).
- Una celda viva con 2 o 3 celdas vecinas vivas sigue viva, en otro caso muere (por "soledad" o "superpoblación").

En la Figura 37, se muestran las primeras generaciones de un ejemplo del “juego de la vida”

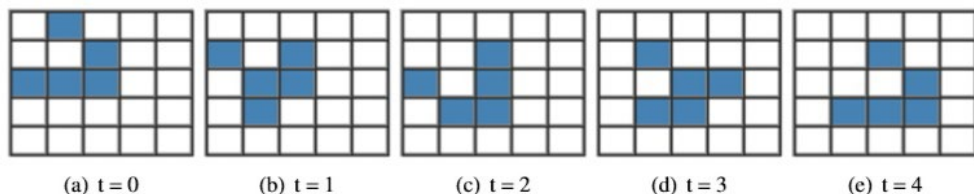


Figura 37. Ejemplo de Juego de la Vida Jhon Conway.

Fuente: imagen tomada de <https://allyslide.com/viewer/reynoso---complejidad-gramatical-28sistemas-1-29>.

La comunidad científica considera estos sistemas como un tipo de ciencia que transforma la modelación e interpretación de las ciencias empíricas (fenómeno – lógica) en modelaciones con sustento matemático (Wolfram, 2002). Los autores Deleuze y Guattari (1980) comparan los AC con los modelos rizomáticos, resaltando la manera en que estos sistemas se

sincronizan independientemente de una instancia central, en la que las células son intercambiables, definiéndose únicamente por un estado en un momento determinado. Reynoso (2010) destaca la aplicación de los AC en las ciencias médicas, detallando el trabajo de Wienes y Rosenblueth (1946) quienes desarrollaron un modelo de AC que describe matemáticamente la conducción de impulsos en sistemas cardiacos.

El principio de los AC fue concebido por el matemático británico Turing (1937) en los años 30, quien es acreedor de su fama por los descubrimientos sobre “*Computational Machine*”. Desde entonces, la idea se ha propagado a partir de innumerables aplicaciones en diferentes campos científicos; desde la forma básica en la que operan los computadores digitales hasta la inteligencia artificial. Incluso el físico británico Wolfram (2002), quien se ha dedicado a estudiar el comportamiento de los AC, cree que el universo está regido por una serie de reglas sencillas y deterministas que producen la complejidad que nos rodea (Petrov et al., 2009).

La historia de los AC después de Turing se puede dividir en tres momentos determinantes en el desarrollo de la teoría. El primer momento está protagonizado por Stanislaw Ulam y Von Neumann en los años 50. Estos autores idean estructuras artificiales auto-reproductivas implementadas en una matriz de celdas que intentan reproducir el espacio; cada una de las posiciones se llama celda y cada una de estas celdas se verá afectada por una función de transición que involucra a las células vecinas. El segundo momento significativo se produce en los años 70, cuando Jonh Horton Conway diseña el AC “juego de la vida” (Figura 37). Por último, el tercer momento se sitúa en los años 80, cuando el físico Stephen Wolfram estudia las diferentes evoluciones de los AC combinando varios estados iniciales de las celdas y diferentes reglas de transición; es decir, dada una regla inicial,

el AC exhibe diferentes comportamientos para diferentes condiciones iniciales; estos comportamientos lo llevaron a clasificar a los AC unidimensionales en cuatro clases según su evolución (punto límite, ciclo límite, atractor extraño y segmentos caóticos aislados), y a determinar reglas basadas en la evolución de los AC (White y Engelen, 1997; Li y Yeh, 2001; Wolfram, 2002).

Stephen Wolfran considera a los AC como un sistema dinámico discreto que pueden representar a la mayoría de los comportamientos encontrados en los sistemas vivos naturales de forma simple. Las investigaciones de este autor se centraron en el estudio detallado de una familia de reglas sencillas unidimensionales (Reglas de Wolfram), utilizadas para explicar la complejidad a través de modelos matemáticos basándose en la naturaleza booleana.

5.3.1. Vecindad en los autómatas celulares.

Las reglas dentro de un sistema AC son locales y por definición el cambio del estado de las celdas se encuentra determinado por los estados de las células centrales y por una vecindad determinada de celdas alrededor de ella; se infiere que la vecindad que se deberá considerar es la inmediata adyacente a la celda central. Cuando el tamaño de la vecindad considerado para las transiciones aumenta, según la lógica de influencia antes mencionada, se incrementa exponencialmente la complejidad del sistema (Taylor et al., 2007).

Si se considera un espacio bidimensional las vecindades más conocidas son:

- La vecindad de Von Neumann: conformada por cuatro celdas adyacentes a una célula de referencia o central (la que será actualizada):

arriba, abajo, izquierda y derecha de la celda central, puede considerarse un radio que definiría la cercanía adyacente, para el radio igual a 1, corresponderían a las células más cercanas en forma axial (Figura 38).

- La vecindad de Moore: considera la vecindad de Neumann adicionando las células diagonales; las diagonales de arriba y abajo la de la izquierda y derecha.
- Vecindad de Von Neuman extendido: esta vecindad corresponde a un radio igual a 2 de la vecindad de Von Neuman, la vecindad mantiene la forma de cruz.
- Vecindad de Moore extendido: toma en cuenta la vecindad de Moore extendida que es modificada por un radio igual a 2, es decir, que la región de la vecindad se expande hacia el siguiente conjunto de células adyacentes, en forma radial (Figura 38).

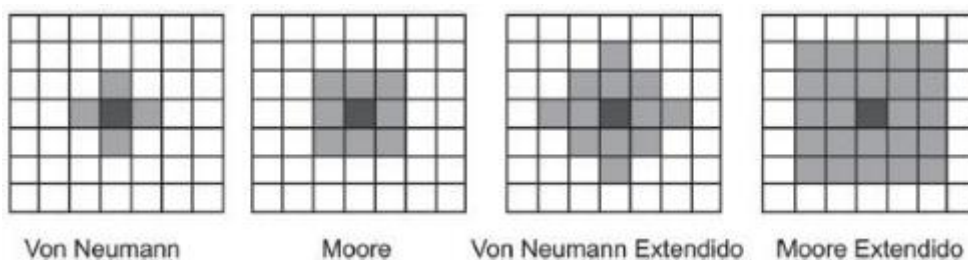


Figura 38. Vecindad de un AC para dos dimensiones.

Fuente: imagen tomada de Juarez (2006).

Otra vecindad ampliamente utilizada es la de Margolus (Figura 39), la cual se basa en dividir el arreglo en razón de 2x2 células formando bloques adyacentes. Esta partición cambia a medida que se efectúan las iteraciones y simplifica la complejidad de la regla, ya que solo es necesario conocer el estado del bloque y no el estado de todas las células adyacentes; así se reduce el efecto booleano del radio de la vecindad. Este modelo se utiliza con

preferencia en simulación de gases o en modelados geográficos derivados de la teoría de Christaller como los que se implementan en el programa SpaCelle, (Cerdá et al., 1970).

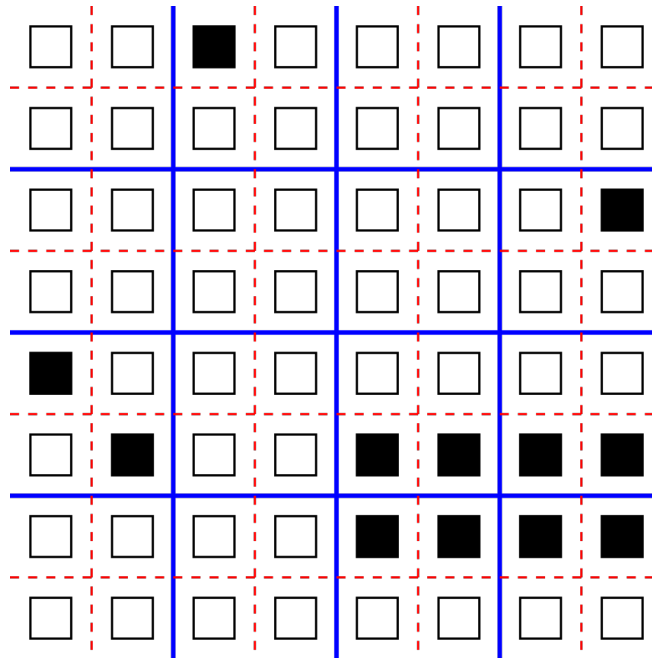


Figura 39. Vecindad de Margolus configuración rectangular.

Fuente: imagen tomada de (Jegadish Kumar, Chenna Kesava Reddy, y Salivahanan, 2011).

5.3.2. Complejidad de los AC.

La complejidad de los AC se incrementa principalmente a medida que el sistema aumenta la dimensión en la que se desarrolla (unidimensional 1D, bidimensional 2D y tridimensional 3D). Un AC de una dimensión (1D) simula un vector (línea de celdas), en el cual cada célula tiene dos vecinos adyacentes inmediatos, uno a cada lado (Figura 40); mientras que en un AC de dos dimensiones (2D) representado en un plano (Figura 41), cada celda podría tener hasta 8 vecinos inmediatos adyacentes; pero aún más complejo

son los AC en tres dimensiones (3D), simulados en el espacio, que podrían llegar a considerar 26 vecinos inmediatos adyacentes (Figura 42).

Considerando que el futuro de cada célula depende estrechamente de su propio estado y del estado de sus vecinos, la transición de un AC puede llegar a complicar su cómputo cuando se toma en cuenta no solo los vecinos inmediatos a una celda, sino los subsiguientes. Este particular se refiere al radio de vecindad que define el número de celdas a cada lado de la celda central que influirá para el cálculo del nuevo estado; es decir que, si el radio es igual a 2 ($r=2$), se consideran los vecinos adyacentes más las celdas subsiguientes.

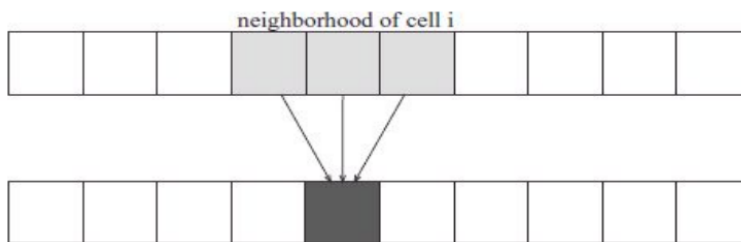


Figura 40. Configuración de AC 1D con $r=1$.

Fuente: imagen tomada de Salinas (2011).

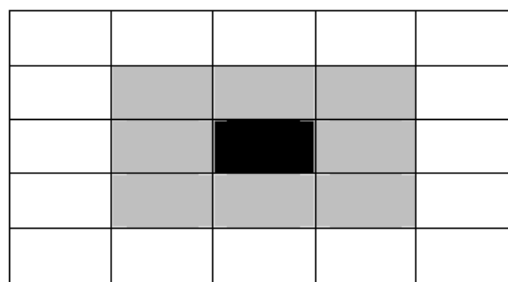


Figura 41. AC bidimensional con $r=1$, celda central y sus vecinos, representado en un plano o grilla.

Fuente: imagen tomada de Reynoso (2010).

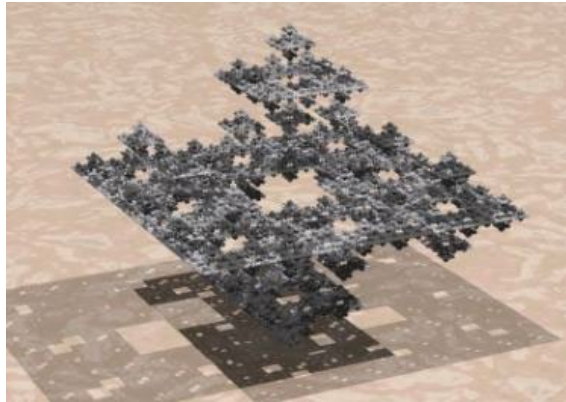


Figura 42. Estructura de un AC de 3 dimensiones representados en el espacio.

Fuente: imagen tomada de Reynoso (2010).

Las reglas de Wolfram (2002) muestran los patrones y complejidades que pueden llegar a tener los AC. El autor plantea una serie de reglas que reflejan un patrón determinado producido al ejecutarse un número determinado de iteraciones. Por ejemplo, la regla 30 y su evolución (Figura 43), ha sido de mucho interés debido a su comportamiento caótico, y es utilizada para generar números aleatorios en diferentes lenguajes de programación.

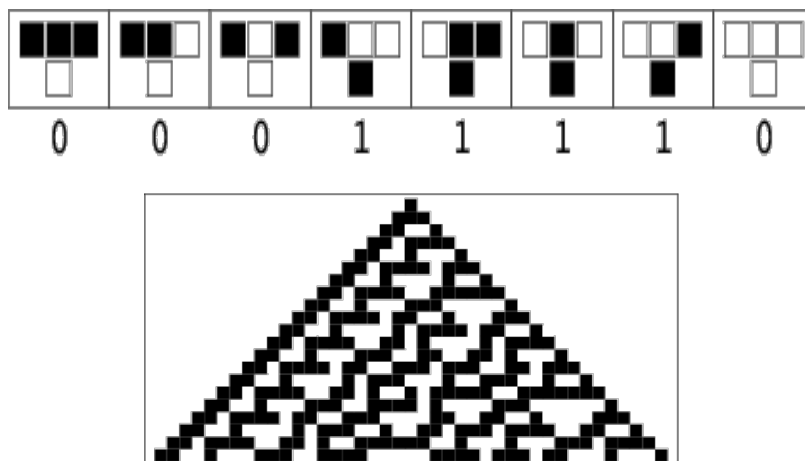


Figura 43. Regla No. 30 de Wolfram, se muestra las 20 primeras generaciones.

Fuente: imagen tomada de Weisstein, Eric W. "Rule 90." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Rule90.html>.

En la Figura 44 se aprecian algunas de las reglas de Wolfram en sus primeras evoluciones.

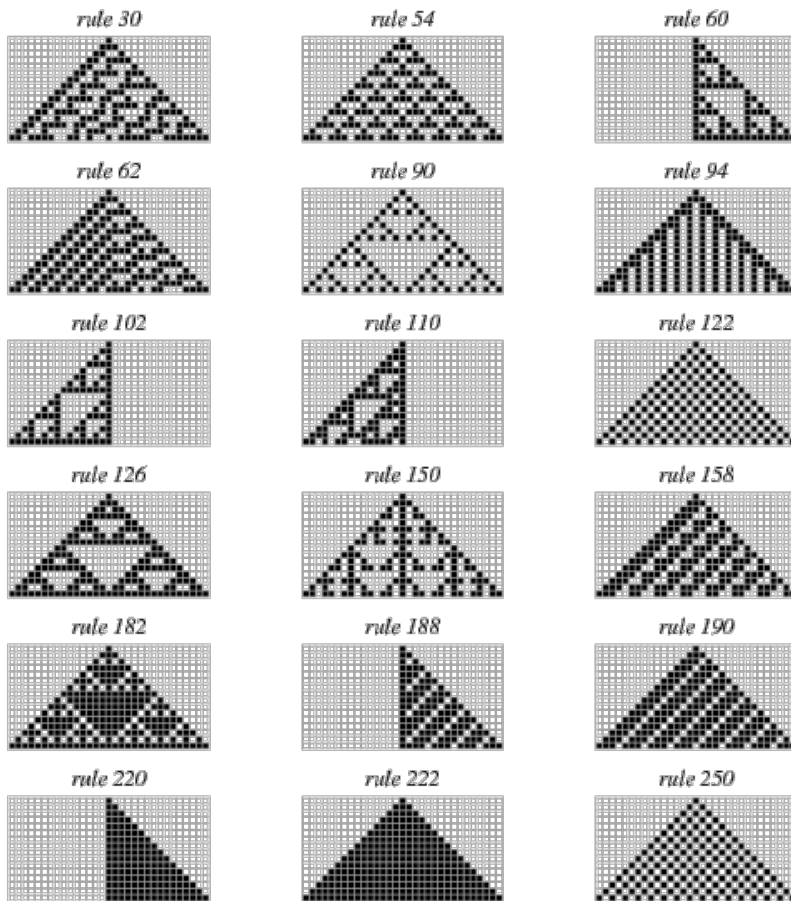


Figura 44. Reglas de Autómatas celulares elementales de Wolfram y sus patrones en las primeras generaciones.

Fuente: imagen tomada de Weisstein, Eric W. "Rule 90." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Rule90.html>.

Wolfram (2002) también clasifica las evoluciones de los AC, en la Figura 45, se muestra las cuatro clases definidas por el autor:

- Clase I (Punto Límite): la evolución lleva a una configuración estable y homogénea, es decir, todas las células terminan por llegar al mismo valor, se estabiliza en el tiempo.

- Clase II (Ciclo Límite): la evolución lleva a un conjunto de estructuras simples que son estables o periódicas, muy utilizada para el procesamiento de imágenes.
- Clase III (Atractor Extraño): la evolución lleva a un patrón caótico aperiódico, se reproducen una especie de curvas fractales autosimilares.
- Clase IV (segmentos caóticos aislados): la evolución lleva a estructuras aisladas que muestran un comportamiento complejo, ni completamente caótico, ni completamente ordenado, sino en el límite entre uno y otro. Este suele ser el tipo de comportamiento más interesante que un sistema dinámico puede presentar. Esta clase de AC no se encuentra definido completamente.

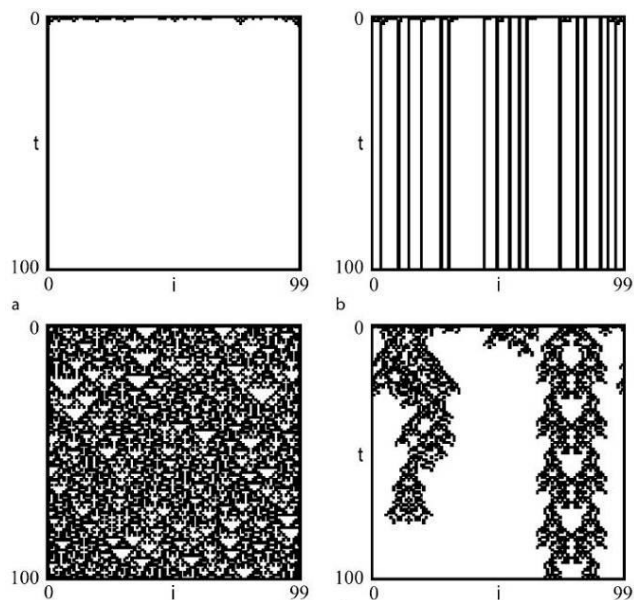


Figura 45. Cuatro clases de AC de Wolfram, clase I arriba izq., clase II arriba dcha., clase III abajo izq., clave IV abajo dcha.

Fuente: imagen tomada de <https://docplayer.es/75255033-Analisis-y-diseño-de-la-ciudad-compleja.html>.

Hernández y Martín del Rey (2002) por su lado, evalúan la complejidad de los AC a través de los patrones que generan después de evolucionar en cierto número de iteraciones. La Figura 46 presenta 3 tipos de patrones de la evolución de los AC:

- Patrones estables: son formas que después de determinado tiempo permanecen inalterables.
- Patrones cíclicos: son patrones que se repiten después de determinadas iteraciones del sistema, uno a continuación de otro, cambiando su dirección o posición.
- Patrones móviles: son disposiciones que sin cambiar su configuración se desplazan a lo largo del arreglo matricial.

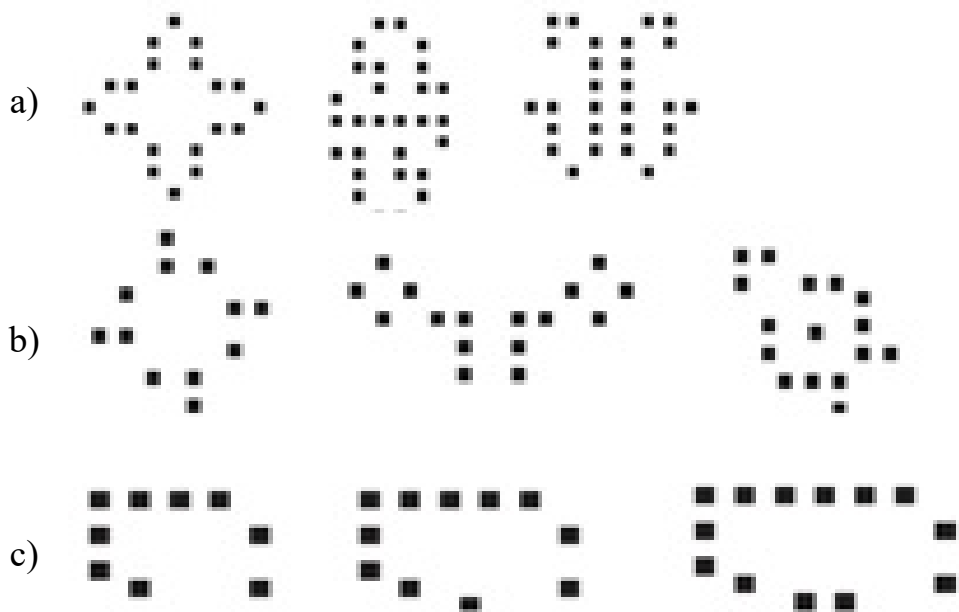


Figura 46. Patrones generados a. estables b. cíclicos y c. móviles.

Fuente: imagen tomada de Hernández y Martín del Rey (2002).

Otro elemento para evaluar la complejidad de los AC son las reglas de transición. En apartados anteriores se ha expuesto a los AC lineales (determinísticos) que se caracterizan por aplicar transiciones relativamente sencillas. Sin embargo, se puede utilizar reglas de transición más sofisticadas que dan lugar a AC más complejos denominados estocásticos probabilísticos.

5.3.3. Autómatas celulares estocásticos probabilísticos.

Si en un sistema se define y aplica la misma regla estándar en todas sus evoluciones, el sistema siempre producirá evoluciones del mismo modo. De manera que el patrón generado después de algunas iteraciones podría ser intuitivo (Reglas de Wolfram). A esta clase de AC se los denomina deterministas, sin embargo, anteriormente se mencionó que los AC pueden por sí mismos generar números aleatorios a partir de reglas determinísticas muy sencillas que provocan aleatoriedad suficiente para no ser predichas (regla 30 de Wolfram). Según el caso o fenómeno que se desee simular, la aleatoriedad añadida a las reglas del sistema resulta beneficioso, y otorga un grado de realidad a los resultados; es decir, se puede introducir a un AC los posibles estados con una probabilidad a través de las reglas de transición (Cerdá et al., 1970).

Para simular sistemas naturales (físicos y/o biológicos) es muy importante considerar aspectos probabilísticos en la dinámica de evolución (Torres y Hernandez, 1994). Es decir, que las reglas de transición no solo se basarán en una expresión matemática condicional, sino que incluirán elementos probabilísticos propios de cada caso. Por ejemplo, para simular el comportamiento de un ser vivo a través de AC es conveniente insertar aleatoriedad probabilística como un ruido en el sistema, procurando que esté

en sincronía con el ambiente (que no sea un ruido que distorsione y rompa el comportamiento del fenómeno), así se garantiza una uniformidad estadística (Arroyo et al., 2015).

Básicamente, un autómata celular estocástico/probabilístico se caracteriza y se diferencia de uno determinístico, por el hecho de que la regla de transición que gobierna el cambio entre estados de las celdas es de naturaleza estocástica o probabilística.

5.3.4. Aplicaciones de los autómatas celulares.

Las aplicaciones en las que los AC pueden intervenir son muy amplias, desde simular sistemas naturales vivos hasta generar y componer música “*WolframTones*”² (Muñoz, 2013). El desarrollo de los AC se vincula también con aplicaciones específicas de física, química, biología, ecología, medicina, economía, administración pública, ciencias de la computación, entre otras (Fernández y Rangel, 2014).

Los AC son muy conocidos por modelar y simular tanto los patrones y autoorganización de sistemas complejos de la naturaleza, como la propagación de virus, genética, contaminación y en la forma de evolución del Universo (Lahoz, 2010). El concepto de autómata también tiene mucho que ver con las funciones cerebrales y la configuración de las neuronas en la corteza cerebral interactuando por estimulaciones eléctricas en la transferencia de la información. Así, las Redes Neuronales Artificiales (RNA) con capacidad de aprendizaje, capaces de memorizar patrones,

² WolframTones se los puede experimentar en la siguiente dirección,
[http://tones.wolfram.com/generate/GIFALpYYTAvgRg8FA39kIK8mWLWtBXaAqGmN
CsiliwRey](http://tones.wolfram.com/generate/GIFALpYYTAvgRg8FA39kIK8mWLWtBXaAqGmNCsiliwRey)

clasificarlos e inferir a partir de experiencias de entrenamiento, se han modelado basándose en AC (Ashby, 2011).

En los siguientes enlaces se encuentran una gran variedad de aplicaciones específicas de los AC, algunos muestran de manera interactiva la aplicación:

- <http://cafaq.com/apps/index.php>
- https://www.sgapeio.es/INFORMEST/VICongreso/taller/applets/biomates/ace/ace_log/ace_log.htm
- <http://tones.wolfram.com/generate/G1FALpYYTAvGRg8FA39kIK8mWLWtBXaAqGmNCsiliwRey>

La aplicación de los AC en fenómenos sociales es la característica más reconocida de estos sistemas, puesto que integra a este tipo de fenómenos con ciencias complementarias para un análisis integral y preciso (Hernández y Martín del Rey, 2002).

La lógica y funcionamiento de los AC permite integrar diferentes disciplinas bajo un enfoque geográfico, permitiendo complementar conocimientos y técnicas transdisciplinarias³ con puntos de vista diferentes que alimentan el estudio de problemas territoriales. Los AC han demostrado ser capaces de integrar espacialmente las tecnologías de información geográfica y la geo-computación con las Ciencias Sociales (Joaquín Bosque, 2005). El enfoque geoespacial de los AC y la IAG permiten desarrollar aplicaciones más precisas para el estudio del territorio, como se muestra en la Tabla 7, los AC son una tendencia en el estudio de fenómenos urbanos.

³ Proceso según el cual los límites de las disciplinas individuales se trascienden para tratar problemas desde perspectivas múltiples con vista a generar conocimiento emergente. Openshaw, 1991 trata este tema en geografía.

5.4. Procesos Urbanos con AC: casos de estudio.

En los años 80 los geógrafos centran su interés en los AC debido a su gran utilidad en estudios urbanos, y para entonces ya se consideraba una herramienta geográfica válida en el mapeo basado en computadora. Bajo esta perspectiva, se desarrollaron varios modelos urbanos considerando a la ciudad como un sistema espacialmente distribuido, y a sus dinámicas urbanas como eventos dependientes de factores socio territoriales (Benenson y Torrens, 2004).

En los años 90 se desarrollan innumerables trabajos sobre sistemas urbanos bajo el enfoque de AC. White y Engelen (1997) coinciden en que Tobler (1995) fue el primero en proponer modelos celulares con dimensión espacial que incluían sistemas geográficos; enseguida, Couclelis (1996) y Takeyama (1996), aportan aplicaciones geográficas del modelamiento urbano y regional basadas en AC.

Así mismo, Takeyama (1996) y Batty y Xie (1996) utilizan AC y SIG para generar modelos urbanos que relacionan el uso del suelo y variables que lo determinan. En este caso, el modelo propuesto por los autores considera y combina los patrones del uso del suelo y la red de transporte. En sus hallazgos aparece una limitación que surge del comportamiento inherentemente local de los AC a escala de ciudad, dado que existen fuerzas externas regionales que producen cambios en el uso del suelo, por ejemplo, el hecho de que las redes de transporte se conectan y evolucionan tanto local como regionalmente. Estas limitaciones se van corrigiendo a medida que se incorporan factores explicativos. En ese sentido, la propuesta de White y Engelen (1997) ha sido considerada por muchos autores como una referencia a imitar; esta propuesta se diferencia de otros modelos de AC porque

considera que el cambio del uso del suelo está influido por otros factores de carácter socioeconómico.

En el esfuerzo por incluir variables sociales urbanas y de alcanzar un realismo experimental, Portugali y Benenson (2006) proponen que, bajo el enfoque de AC, cada celda represente un lote o propiedad residencial con atributos de estado, valor, características de vivienda, información censal y demográfica (catastro – vectores – polígonos).

Cabe recalcar que los modelos empleados para la simulación de las dinámicas de la ocupación del suelo no están constituidos por un autómata celular estricto, por el contrario, buena parte de estos modelos determinan un potencial de transición basado en diferentes factores conductores de los procesos urbanos. Entre los principales se encuentran: la accesibilidad, la aptitud del suelo, topografía, probabilidad del cambio de uso del suelo, entre otros.

Bajo la perspectiva anterior, el proyecto MOLAND (*Monitoring Land Use Changes*) para Europa, ha alcanzado protagonismo por los trabajos ejecutados en fenómenos urbanos (Barredo et al., 2003; Aguilera et al., 2010). El proyecto utiliza una serie de indicadores para el análisis de las dinámicas urbanas y regionales de las áreas que estudia, aunque también ha inspirado los modelos desarrollados en otros estudios como el de Valera et al. (2011), que analiza el crecimiento urbano y la degradación de suelos por sellado antropogénico en el municipio de Valencia (España); o el de Rullan (2012) que monitorea las tendencias de ocupación y uso del suelo de las principales concentraciones urbanas Europeas.

La herramienta DUEM (*Dynamic Urban Evolutionary Model*), creada por “*The Bartlett Center for Advanced Spatial Analysis*” de UCL (University College London), es otra aplicación que corresponde a estudios urbanos que

modelan con AC. Los modelos presentados en esta aplicación utilizan modelos logísticos, exponenciales, depredador – presa, dinámica no lineal y dimensiones fractales en diferentes escenarios de crecimiento urbano computados por AC. DUEM se ha aplicado en ciudades como Chicago (EEUU) o Zhangjiagang (China) (Batty et al., 1999; Batty, 1997).

Otra Herramienta para modelar el crecimiento urbano y cambios en el uso del suelo es el modelo de crecimiento urbano SLEUTH (*Slope, Landuse, Exclusion, Urban Extent, Transportations and Hillshade*) creado por Keith Clarke en la Universidad de Santa Barbara – California (EEUU). Este es un modelo de autómata celular escalable y universalmente aplicable; ha sido probado en Washington DC y San Francisco, ambos en Estados Unidos de América (Jantz et al., 2004). Según Reynoso (2010), en el marco del proyecto “Gigalopolis” se diseñó la versión reformulada de SLEUTH, el “*Deltatron Land Cover Model*”, que generó alto impacto entre los especialistas de la temática. Una calibración de este modelo ha sido adaptada a ciudades europeas (Silva y Clarke, 2002).

5.4.1. Casos de estudio.

Como tarea previa al diseño del modelo de expansión urbana de esta tesis, se realizó una revisión de bibliografía científica y se seleccionó una serie de casos de estudio fundamentados en las políticas públicas para controlar el crecimiento urbano acelerado y la preexistencia de conflictos en la ocupación del suelo, entre ellos la informalidad. En la Figura 47, se muestra la ubicación geográfica de los casos seleccionados y en la Tabla 8 aparece el detalle de las condiciones bajo las cuales fueron desarrollados; incluye los factores ocupados como predictores y datos de partida.



Figura 47. Algunos trabajos con implementación de AC en crecimiento urbano alrededor del globo.

Argentina: Buenos Aires, Tandil; Australia: Sydney; Brasil: Sao Pablo, Arroio Grande, Jaguarao; Chile: Los Ángeles, Bio, Región Aysén; España: Galicia, Granada, Ribaleo, Galicia, Comunidad de Madrid; Francia: Rouen; India: Saharanpur; México: Río Metztitlan, Chiguagua; Nigeria: Lagos.

Fuente: Elaboración propia.

De los 35 casos de estudios encontrados a partir de la revisión bibliográfica (14 en Asia, 13 en América, 6 en Europa, 1 en Australia y 1 en África) (Tabla 8), se puede identificar que Idrisi Kilimanjaro® es la herramienta utilizada con más frecuencia; otras de las aplicaciones utilizadas son Fragstats®, CityCell®, LanduseSim® y DinamicaEgo®.

Respecto a los factores que guían el comportamiento del fenómeno (variables predictoras), se observan coincidencias entre los diferentes trabajos, por ejemplo, las variables que aparecen de forma más frecuente son:

- accesibilidad, principalmente distancia a vías de comunicación,
- usos del suelo,
- núcleos urbanos,

- distancia a cursos de agua y,
- variables físicas relacionadas con la forma del relieve (pendientes, orientaciones, relieve y altitud).
- En relación a los factores que aparecen con menor frecuencia, debido principalmente a características particulares de cada zona de estudio son:
 - accesibilidad a estaciones de tren,
 - accesibilidad al puerto,
 - vecindad y,
 - distancia a aeropuertos.

Tabla 8. Recopilación de trabajos con modelación urbana bajo AC y sistemas geográficos.

REFERENCIA	DATOS	Pendientes / Orientaciones / Relieve / Altitud	Usos Del Suelo	Agricultura Y Vegetación	Núcleos Urbanos	Distancia A Cursos De Agua	Distancia A Núcleos Urbanos	Distancia A Áreas Comerciales	Accesibilidad A Servicios Básicos	Distancia A Vías De Comunicación	Accesibilidad A Líneas De Ferrocarril	Accesibilidad A Estaciones De Tren	Accesibilidad Al Puerto	Suelo Urbanizable	Situación Legal Del Suelo	Vecindad	Datos Socioeconómicos	Distancia Aeropuertos	Limitaciones Y Exclusiones	Idoneidad	Densidad Poblacional
(Aguilera, 2006)	Cartografía del crecimiento urbano 1:10,000 y coberturas de las variables explicativas	•			•	•			•	•				•							
(Barredo. et al., 2004)			•	•	•					•	•							•			
(Benavente, Montes, y Sendra, 2010)	Cartografía urbana, Factor de Accesibilidad, Factor de aptitud del territorio		•		•					•						•					
(Buzai, 2007)	Agglomeración 1869, 1895, 1914, 1947, 1960, 1970, 1980, 1991.	•																			
(AM, I, R, y FJ, 2008)	Mapas de usos del suelo de la parroquia de Ribadeo y de las cuatro más próximas para los años 1995 y 2003 mediante fotointerpretación.	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•							

REFERENCIA	DATOS	Pendientes / Orientaciones / Relieve / Altitud	Usos Del Suelo	Agricultura Y Vegetación	Núcleos Urbanos	Distancia A Cursos De Agua	Distancia A Núcleos Urbanos	Distancia A Áreas Comerciales	Accesibilidad A Servicios Básicos	Distancia A Vías De Comunicación	Accesibilidad A Líneas De Ferrocarril	Accesibilidad A Estaciones De Tren	Accesibilidad Al Puerto	Suelo Urbanizable	Situación Legal Del Suelo	Vecindad	Datos Socioeconómicos	Distancia Aeropuertos	Limitaciones Y Exclusiones	Idoneidad	Densidad Poblacional
(Dietzel, C., Clarke, 2004)	Imágenes Satelitales, Mapas topográficos, Limite, Modelo Digital del Terreno fotografía aérea	•	•																		
(No Oguz, H., Klein, A., Srinivasan, 2007)	Imágenes Satelitales, Limite y Modelo Digital del Terreno		•		•																•
(Sun, H., Forsythe, W., Waters, 2007)	Imágenes Satelitales		•			•			•	•											
(Ye, B., Bai, 2007)	Imágenes Satelitales y Mapas Topográficos		•																		•
(Yuan, 2010)	Imágenes Satelitales		•	•					•	•											•
(Arsanjani, J.J., Kainz, W., Mousivand, 2011)	Imágenes Satelitales		•																		
(Mitsova, D., Shuster, W., Wang, 2011)	Limite y Modelo Digital del Terreno		•			•				•							•				

REFERENCIA	DATOS	Pendientes / Orientaciones / Relieve / Altitud	Usos Del Suelo	Agricultura Y Vegetación	Núcleos Urbanos	Distancia A Cursos De Agua	Distancia A Núcleos Urbanos	Distancia A Áreas Comerciales	Accesibilidad A Servicios Básicos	Distancia A Vías De Comunicación	Accesibilidad A Líneas De Ferrocarril	Accesibilidad A Estaciones De Tren	Accesibilidad Al Puerto	Suelo Urbanizable	Situación Legal Del Suelo	Vecindad	Datos Socioeconómicos	Distancia Aeropuertos	Limitaciones Y Exclusiones	Idoneidad	Densidad Poblacional
(Zhang, Q., Ban, Y., Liu, J., Hu, 2011)	Imágenes Satelitales, Mapas topográficos, Limite y Modelo Digital del Terreno		•			•			•	•											
(Feng, H., Liu, 2012)	Imágenes Satelitales, Limite y Modelo Digital del Terreno	•	•	•		•				•							•				
(Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S., Al-Sharif, n.d.)	Imágenes Satelitales, Limite y Modelo Digital del Terreno		•			•				•							•		•		
(Al-shalabi, M., Pradhan, B., Billa, L., Mansor, S., Althuwaynee, 2013)	Imágenes Satelitales, Limite y Modelo Digital del Terreno					•				•											
(Arsanjani, J.J., Kainz, W., Mousivand, 2011)	Imágenes Satelitales	•	•	•	•					•							•				•
(Aithal, B.H., Vinay, S., Ramachandra, 2014)	Imágenes Satelitales, Mapas topográficos, Limite y Modelo Digital del Terreno	•			•					•	•						•			•	•

REFERENCIA	DATOS	Pendientes / Orientaciones / Relieve / Altitud	Usos Del Suelo	Agricultura Y Vegetación	Núcleos Urbanos	Distancia A Cursos De Agua	Distancia A Núcleos Urbanos	Distancia A Áreas Comerciales	Accesibilidad A Servicios Básicos	Distancia A Vías De Comunicación	Accesibilidad A Líneas De Ferrocarril	Accesibilidad A Estaciones De Tren	Accesibilidad Al Puerto	Suelo Urbanizable	Situación Legal Del Suelo	Vecindad	Datos Socioeconómicos	Distancia Aeropuertos	Limitaciones Y Exclusiones	Idoneidad	Densidad Poblacional
(Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., Gholamalifard, 2014)	Imágenes Satelitales, Limite y Modelo Digital del Terreno	•																			
(Dezhkam, S., Amiri, B.J., Darvishsefat, A.A., Sakieh, 2014)	Imágenes Satelitales, Mapas topográficos, Limite y Modelo Digital del Terreno	•																			
(Chowdhury, P.R., Maithani, 2014)	Imágenes Satelitales, Mapas topográficos		•			•				•	•						•				
(Liao, J., Tang, L., Shao, G., Su, X., Chen, D., Xu, 2016)	Mapas topográficos, Limite y Modelo Digital del Terreno		•		•					•	•										
(Mishra, V.N., Rai, 2016)	Imágenes Satelitales, Mapas topográficos, Limite y Modelo Digital del Terreno	•	•							•									•		•

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA.

En el presente capítulo, se expone una descripción general de la metodología abordada y se detallan las consideraciones primarias que guían la construcción del modelo basado en autómatas celulares en la periferia norte de Quito (Ecuador). En los apartados siguientes, con base en la Tabla 8 y en la realidad de la zona de estudio, se plantean los criterios aplicados para elegir los factores (variables predictoras) que explican los asentamientos urbanos. Además, se detalla el trabajo de campo que se realizó en el área de estudio, información que permitió la construcción de una variable adicional. Por último, se describen las herramientas informáticas utilizadas para construir los modelos de crecimiento urbano.

6.1. Descripción general de la metodología.

Para generar las proyecciones geográficas de la ocupación residencial en la zona de estudio, se recopilarán (1) los trabajos realizados hasta la fecha sobre la evolución urbana de la ciudad de Quito, en especial aquellos relacionados con el comportamiento de las periféricas de su sector norte, (2) los estudios sobre el crecimiento urbano y simulaciones del fenómeno en las diferentes regiones del mundo, y (3) las técnicas y metodologías aplicables en la elaboración de pronósticos de crecimiento urbano. Paralelamente, se explorará la información disponible (imágenes satelitales y variables predictoras del fenómeno) y su evaluación para ser incorporada a la investigación. Por último, se construye el modelo de predicción tomando en

cuenta tres recursos indispensables: la evolución del crecimiento de los asentamientos de la zona de estudio, las variables explicativas (variables predictoras) y las funciones de los autómatas celulares. El modelo se someterá a pruebas geoestadísticas para determinar la correlación de las variables utilizadas y el grado de predicción resultante. La Figura 48 muestra el esquema general de flujos de la metodología general aplicada. Esta se inicia en la parte superior del recuadro rojo, continua con el recuadro gris también leído desde la parte superior a la inferior y finaliza en el último eslabón inferior con las predicciones de la expansión urbana.

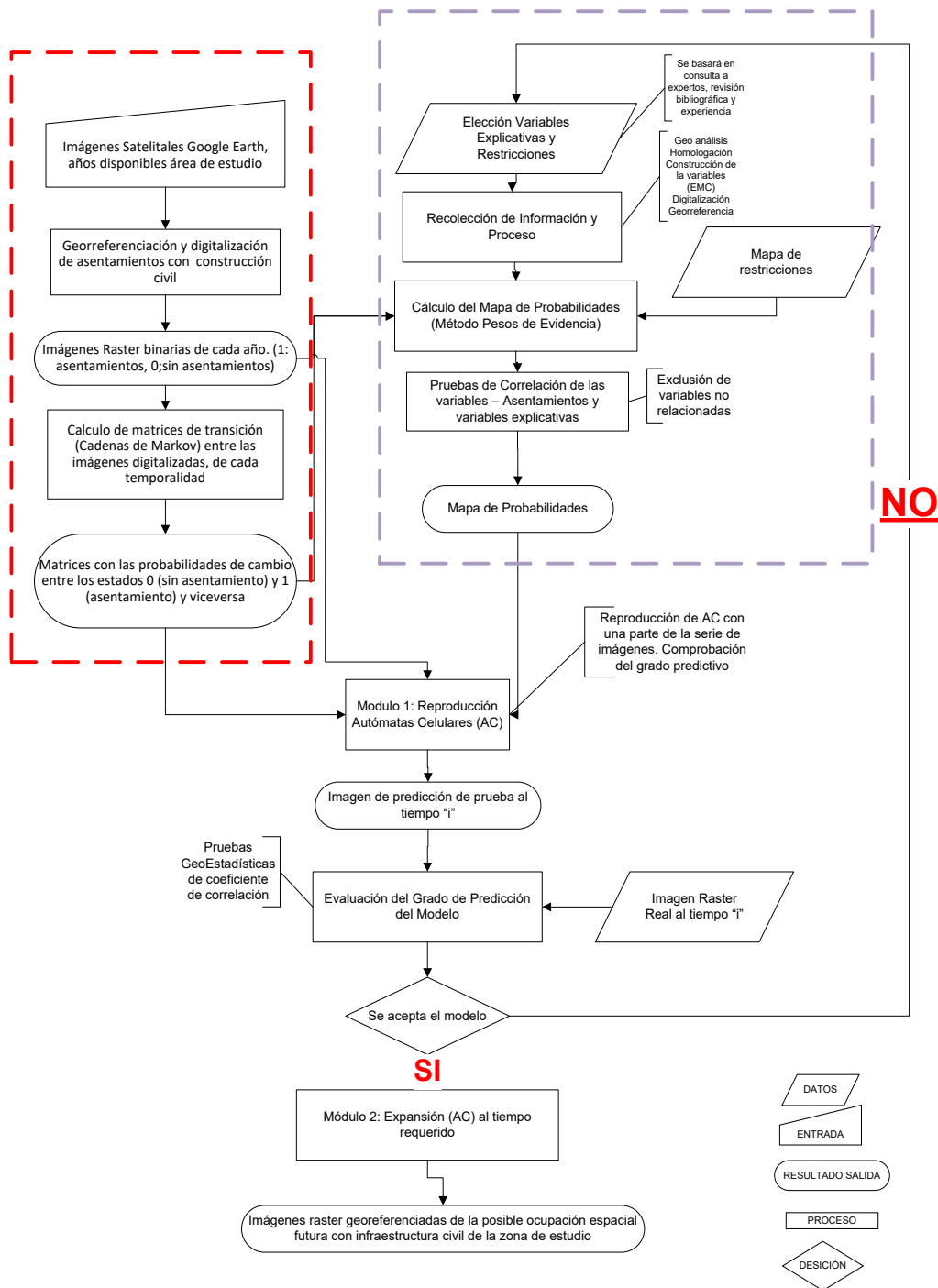


Figura 48. Flujoograma general de la metodología.

Fuente: elaboración propia.

6.2. Revisión de literatura y estudios precedentes en modelamiento de procesos urbanos.

Para construir una base teórica conceptual sobre los diferentes modelamientos de procesos urbanos se aplicó una metodología de tipo inductiva y análisis de documentos. Entre la información esbozada se encuentran textos sobre la evolución de las ciudades, teorías del modelamiento urbano, modelamientos urbanos tratados bajo Sistemas de Información Geográfica (SIG), planes de monitoreo del crecimiento urbano y técnicas y tecnologías de modelamientos urbanos con inteligencia artificial y sensores remotos. Gran parte de este esfuerzo se dedicó a describir la metodología de Autómatas Celulares (AC).

La revisión bibliográfica generó, por un lado, una clasificación general de los métodos y tecnologías, y una priorización de las necesidades que permite estudiar el comportamiento de crecimiento urbano en las periferias de las ciudades. Por otro lado, se identificaron las características de la gestión gubernamental de las diferentes instituciones de la ciudad de Quito en relación a la planificación y control de los asentamientos formales e informales de las periferias de la ciudad.

En este apartado, los esfuerzos fueron dirigidos a la descripción de la metodología de AC bajo tecnologías de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos para explicar el comportamiento futuro del crecimiento urbano en la periferia de la ciudad. Esta metodología se describe en sus diferentes fases: la generación de información de partida (información geográfica, entrevistas y trabajo de campo), geoprocésamiento y análisis geoestadístico.

6.3. Consideraciones y generación de la información de partida.

Luego de corroborar la dinámica de los asentamientos urbanos en el sector de estudio, a través de observación directa e interpretación de imágenes satelitales, se contrastó con la dinámica general del crecimiento urbano de la ciudad desde sus inicios, mencionada en capítulos anteriores. Esta actividad se centra en identificar las costumbres de la forma de asentarse y ocupar espacios en la ciudad heredadas entre generaciones.

Uno de los recursos más importantes en esta fase corresponde a la exposición “Dinámicas urbanas de Quito 1978 – 2018” del Centro Cultural Metropolitano, que incorporó las diferentes etapas que conforman la ciudad en su largo trayecto por la historia; desde la memoria viva del pasado ancestral, pasando por el legado colonial y republicano, hasta las dinámicas urbanas del presente inmediato (2022).

Las siguientes consideraciones fueron seleccionadas para ser aplicadas en el análisis exploratorio y elegir los mejores criterios para la construcción de los modelos.

Los asentamientos residenciales en laderas y quebradas con pendientes pronunciadas se practican desde la época precolonial hasta la actualidad (2022). Esto se puede constatar por levantamientos arqueológicos que demuestran que los quiteños ocuparon las laderas del volcán Pichincha (periferia occidental de la urbe de Quito) entre los 2.800 y 3.100 metros sobre el nivel del mar (msnm); debido a que la meseta central donde actualmente se asienta el hipercentro de la ciudad estaba conformado por lagunas no propicias para habitar, como son las de Turubamba, Ñaquito o Postrera (Figura 49), esta práctica se mantuvo incluso hasta después del legado colonial. En la Figura 50 aparece el plano de la ciudad de Quito en el

año 1734 donde se observa la extensión de la ciudad sobre las fuertes
pendientes del volcán Pichincha.

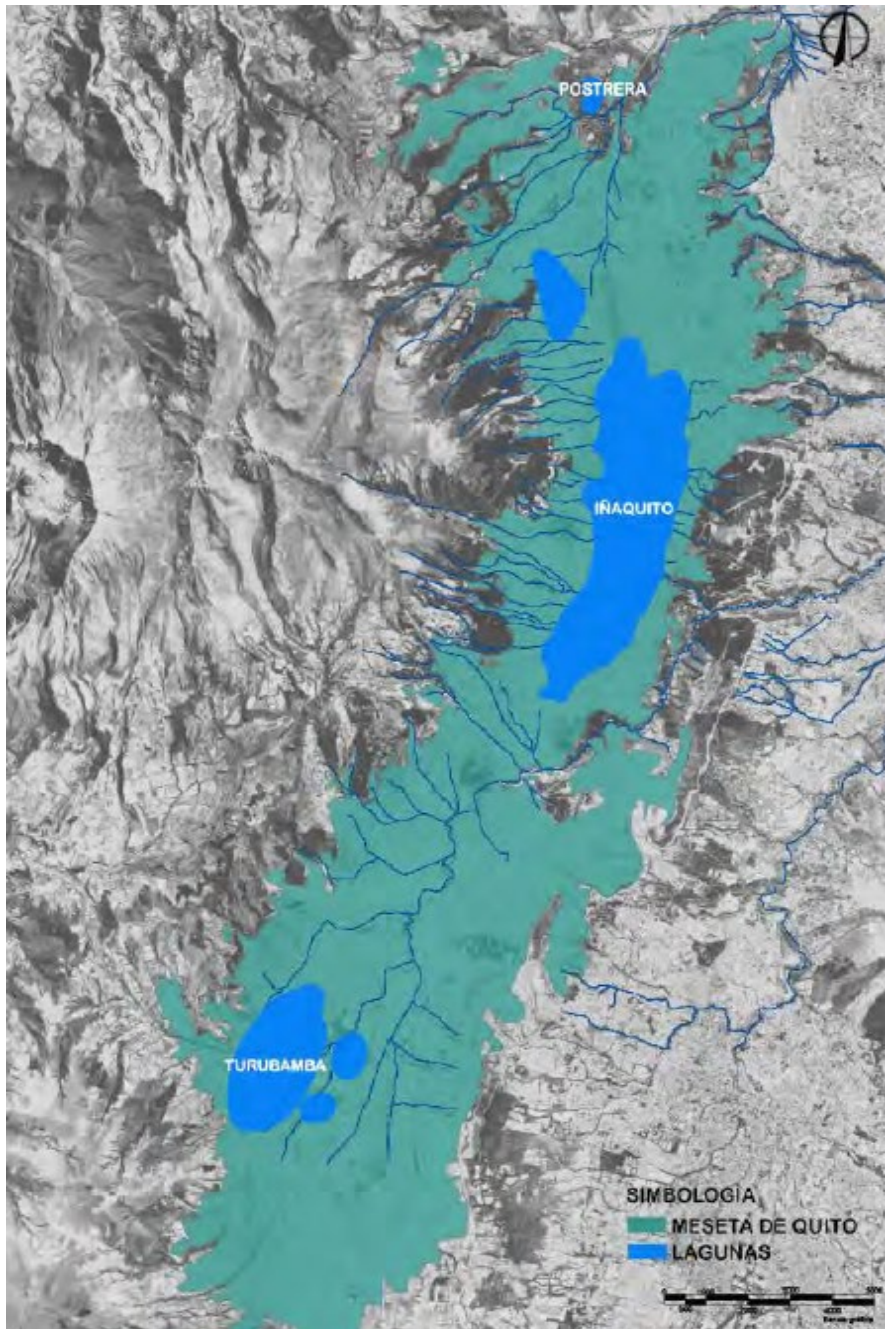


Figura 49. Meseta central de Quito conformado por lagunas.

Fuente: imagen tomada de Loaiza y Tapia, 2017.

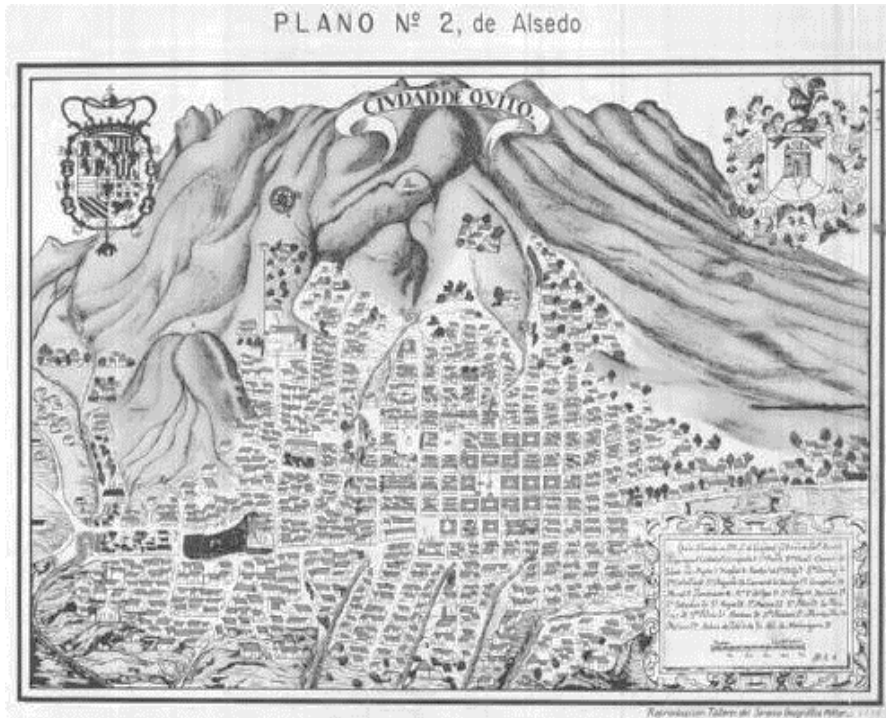


Figura 50. Plano de la ciudad de Quito de 1734.

Fuente: archivo general de Indias, Sevilla.

Actualmente, se pueden identificar en los diferentes sectores de la ciudad innumerables asentamientos en laderas, tanto es así que, solo en el lado occidental de la ciudad, se han encontrado 198 barrios ubicados en pendientes consideradas zonas de riesgo (Diario EL COMERCIO, 2019). Casos parecidos se logran reconocer en la parroquia de Calderón, cerca de la zona de estudio (Figura 51 a – d).



a)



b)



c)



d)

Figura 51. Edificaciones asentadas en laderas con pendientes en la zona de estudio, áreas de riesgo.

Las imágenes a y b muestran asentamientos en quebradas al sur de la parroquia de Calderón, las imágenes c y d muestran asentamientos en laderas nororientales de la parroquia de Calderón cerca de la zona de estudio (2021).

Fuente: elaboración propia.

Las redes viales y los caminos abiertos artesanalmente están íntimamente relacionados con las conformaciones urbanas, son los que han guiado los patrones de crecimiento constituyendo infraestructuras que motivan la proliferación de asentamientos regulados y no regulados (Figura 52 a – c). Paralelamente, las vías de comunicación son la infraestructura raíz para la instalación de servicios básicos. Por lo tanto, la accesibilidad a través de la red vial se considera el factor más influyente y el detonante de formaciones urbanas en el sector de estudio.



Figura 52. Apertura de caminos artesanales.

Las imágenes a y b muestran una apertura informal de camino y asentamientos alrededor del mismo sitio en diferentes perspectivas, al sur de la zona de estudio. La imagen c muestra apertura de camino informal en la zona de estudio (2021).

Fuente: imágenes tomadas de GoogleEarth/Google Street Map.

Otra consideración se refiere a la disposición de los servicios básicos. Se observó que las expansiones urbanas tienden a ubicarse en las cercanías de las infraestructuras de servicios, principalmente de agua potable (Figura 53 a y b) y de energía eléctrica, incluso en aquellas zonas que no cuentan con acometida domiciliaria; por ejemplo, cerca de una de red de hidrantes destinados a emergencias o de redes de alta tensión eléctrica (Torres de alta tensión) (Figura 53 c y d).

a)



b)





Figura 53. Asentamientos y caminos alrededor de plantas de tratamiento de agua potable (a y b) y torres de alta tensión (c y d), barrio Luz y Vida, cerca de la zona de estudio.
Fuente: imágenes tomadas de GoogleEarth/Google Street Map (2021).

Las características y calificaciones del uso y aptitud del suelo que gobiernan en el área de estudio también han sido tomadas en cuenta, puesto que determinan si se habilitan condiciones propicias para levantar edificaciones. Por ejemplo, se observa que de manera general las áreas calificadas como aptas para el uso agrícola y forestal, presentan cantidades significativas de

asentamientos. En este sentido, las diferentes calificaciones por parte de la municipalidad para el uso del suelo restringen formalmente las construcciones destinadas para residencia en todo suelo que no sea urbanizable, no obstante, se observa que, en determinados usos, las violaciones a las ordenanzas son más visibles.

En otra perspectiva complementaria a las mencionadas anteriormente, se han considerado dimensiones sociales que potencialmente podrían alentar la proliferación de asentamientos de construcciones. Se puede inferir que las condiciones socioeconómicas de la población del sector analizado tienden a influenciar en la construcción de nuevas edificaciones. Las condiciones sociales que se toman en cuenta en esta investigación y que se han determinado a partir de las investigaciones de campo son: el nivel de educación de los habitantes, la emigración debido a la percepción de ingresos económicos de familiares residentes en el extranjero, y la intención futura de particionar la tierra para destinarlas a la construcción de nuevos asentamientos. La división de la propiedad puede tener diferentes motivos como la transacción comercial (compra venta) o la aceptación de herencias.

A todas las consideraciones expuestas en este apartado se les han asociado variables conductoras espaciales (variables predictoras) que permiten evaluar la relación existente entre ellas y el comportamiento del crecimiento urbano, es decir, el comportamiento de los asentamientos en la periferia.

6.4. Trabajo de campo, entrevistas y encuesta digital.

El trabajo de campo se realizó recorriendo la zona de estudio establecida durante diversas ocasiones entre los años 2018 y 2021. La primera etapa tenía como objetivo único la observación y toma de contacto con el terreno

y se desarrolló durante los meses de agosto, septiembre, noviembre y diciembre de 2018. En junio, julio y septiembre de 2019 se identificaron los factores que guían los asentamientos y los actores clave que ayudarían a recopilar información relevante. Además, se realizó una inspección de los alrededores de la zona con el fin de caracterizar el área urbana circundante. Por último, durante el año 2020 e inicios de 2021, se realizaron entrevistas abiertas informales, lo que facilitó entender a los habitantes y dirigentes del sector sobre la realidad del hábitat (Anexos A y Anexos B).

La observación directa en campo permitió palpar el modo en el que los procesos de urbanización se han desarrollado y estimar la distribución geográfica del mismo. Las entrevistas se realizaron con el objetivo de conocer la intención de los habitantes a continuar construyendo en sus propiedades (ampliaciones horizontales y/o verticales o nuevas construcciones), así como, averiguar si conocen vecinos o terceras personas (entre ellas firmas constructoras) interesadas en construir o urbanizar en el sector. Por esta razón, las propiedades escogidas para entrevistar cumplen con las siguientes condiciones: (1) propiedades que se encuentren ubicadas en la zona de estudio o muy cerca, donde se observa procesos de densificación y expansión, y (2) predios con dimensiones mayores iguales a 1.000 m² que registren más de un propietario en el catastro municipal, es decir, en herencia o derechos y acciones. Los resultados fueron utilizados para construir una capa geográfica que refleja las áreas que tienen intención de densificación y expansión urbana, esta capa se incluye como un de las variables predictoras en los modelos

Se realizaron 14 entrevistas a los habitantes de la zona de estudio, incluyendo a dirigentes sociales reconocidos legalmente de la zona

administrativa de Calderón. En el mapa de la Figura 54 se puede observar la ubicación de las propiedades de los Entrevistas.



Figura 54. Distribución geográfica de las propiedades (marcas azules) dentro de la zona de estudio Entrevistas.

Fuente: elaboración propia.

Paralelamente, a través de grupos de WhatsApp® y Messenger de Facebook® que tienen como competencia intereses la zona de estudio de esta investigación, se difundió una encuesta recomendada por los mismos administradores de los grupos (miembros de la administración zonal de la parroquia), con temas de interés de esta investigación a través del formulario electrónico: <https://forms.gle/X2PZK68dX965t8Mj6> (Figura 55); con el objetivo de conocer de forma somera las condiciones socioeconómicas y demográficas de los moradores en zonas residenciales periféricas consolidadas. La encuesta tuvo una intención exploratoria asociada al

objetivo de conocer las realidades y perspectivas de los habitantes, tanto de la zona de estudio como de los sectores cercanos. Es necesario hacer notar que los resultados de esta encuesta no responden a una muestra estadísticamente representativa de la zona de estudio y no se le puede asociar un nivel de confianza. Esto deriva de que se desconoce el número de habitantes o asentamientos de la zona puesto que estos son de carácter informal y no existe censo de población actualizado (2022) en esta área.

La encuesta se difundió a grupos y asociaciones como: Comités Pro-Mejoras de barrios aledaños a la zona de estudio, canales informativos de la Parroquia, administración zonal “Calderón” y a los moradores de la parroquia inscritos en los grupos de las redes sociales.

Uno de los grupos de mayor interés para la tesis fue “Vecinos del Barrio Gross”, puesto que este sector en el pasado fue parte de una expansión urbana y en la actualidad es una zona urbana residencial consolidada ubicada en las proximidades del área de estudio. De este modo, los vecinos del barrio Gross cuentan con la experiencia completa del proceso de urbanización de una zona de la periferia (Anexos C).

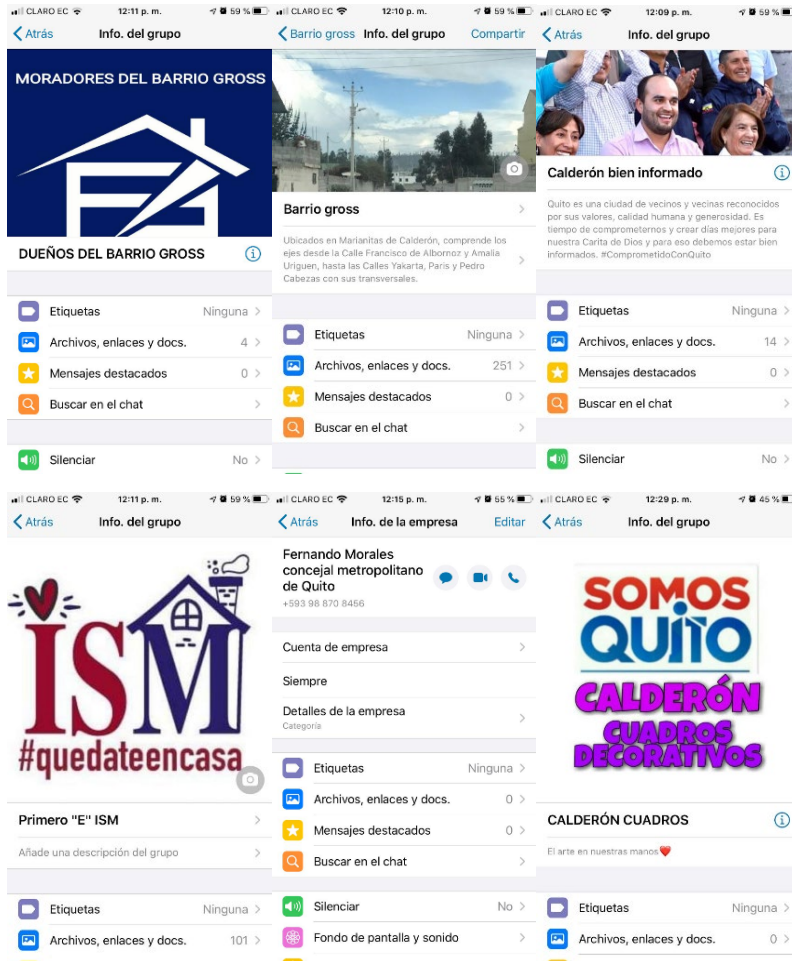


Figura 55. Pantallas de los grupos de mensajería a los cuales se envió la encuesta electrónica.

Fuente: elaboración propia.

6.5. Herramienta de análisis y geoprocesamiento.

Existe gran variedad de aplicaciones informáticas que automatizan la lógica y procesos de sistemas complejos; se diferencian principalmente en función del lenguaje en el que se programaron y si son versiones comerciales o no. Algunos de los “*software*” más utilizados con metodología de autómatas

celulares son Idrisi Kilimajaro, SpaCelle, Fragstats y DinamicaEgo®, sin embargo, existen muchos más entre versiones científicas y comerciales.

Para la elaboración de este trabajo de investigación se ha optado por la aplicación DinamicaEgo®, debido a que presenta amplia versatilidad al incluir modelos de AC combinados con diferentes procesos geo-estadísticos y matrices de transición (Cadenas de Markov); además, ha sido probada en varias regiones similares al área de estudio de este proyecto. Esta herramienta se destaca por la adaptación de funcionalidades de transición que habilitan estructurar la forma y tamaño de los patrones de cambio, lo que permite replicar los elementos en expansión y contracción.

Dinámica Ego® consta de una plataforma avanzada dedicada principalmente al modelado ambiental, entre sus potencialidades se encuentran diseñar modelos estáticos y dinámicos muy complejos, multi-transiciones, retroalimentaciones dinámicas, multirregión y escala de múltiple enfoque. Además de una serie de algoritmos espaciales para el análisis de simulación de fenómenos espacio – temporales (Espinoza-Mendoza, 2016).

A diferencia de otras aplicaciones con esquemas estáticos y parámetros fijos que solo posibilitan el cambio de valores de los coeficientes, DinamicaEgo® permite modelar abiertamente los fenómenos de estudio. El lenguaje que utiliza esta aplicación se le conoce como lenguaje de flujo de datos, es decir, el flujo de datos de una salida de un proceso hacia la entrada de otro.

En la documentación de DinamicaEgo® se presenta varios ejemplos elaborados por varios autores de modelos de cambio de usos de suelo, modelamiento ambiental y análisis espacial. Todos ellos aparecen publicados en la página <https://csr.ufmg.br/dinamica/>. Entre los más destacados se encuentran:

- SimMadeira: un modelo de registro espacialmente explícito para evaluar escenarios de cosecha de madera en la Amazonía brasileña.
- SimAmazonia: simula la deforestación para modelar escenarios de conservación en la cuenca del Amazonas.
- Otimizagro: un modelo nacional brasileño que simula el uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra, la silvicultura, la deforestación y rebrote y las emisiones de CO2 bajo varios escenarios de demanda y políticas de tierras agrícolas para Brasil.
- FISC (Fire Ignition, Spread y Carbon Components): es un modelo espacialmente explícito que simula los procesos de ignición y propagación de fuego junto con la dinámica del combustible.
- THMB: versión DinamicaEgo® del Modelo de Hidrología Terrestre con Biogeoquímica.
- PFMN: modelo de las rentas de productos forestales no maderables.
- BioDinamica: abarca un conjunto de funciones para el análisis espacial de biodiversidad, biogeografía y macroecología.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

CAPÍTULO 7

7. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE CRECIMIENTO URBANO PARA UN SECTOR DE LA PERIFERIA NORTE EN LA PARROQUIA DE CALDERÓN DE LA CIUDAD DE QUITO ECUADOR.

Uno de los objetivos principales de esta tesis es la construcción de diversos modelos de ocupación del suelo referidos a diferentes años, puesto que estos serán la base para generar las proyecciones de nuevos asentamientos en la zona de estudio.

Considerando que la información de partida inicial para la construcción de un modelo de ocupación del suelo es la observación histórica del crecimiento urbano y la identificación de los patrones de ocupación, se procedió a recolectar información histórica de la evolución de los asentamientos en el área de estudio. Uno de los recursos que es insumo principal del modelo, son las imágenes satelitales de los diferentes años que permiten identificar la evolución del fenómeno y los factores que motivan la edificación fragmentada.

En las siguientes secciones se especifican los procesos de producción y tratamiento de información espacial, es decir, los insumos del modelo; además, se detallan los factores conductores (variables predictoras) considerados. Una vez obtenida la información base, se abordan las diferentes etapas de la modelación: entrenamiento, calibración y validación. Por último, se presenta los escenarios futuros del crecimiento urbano (asentamientos) en esa zona.

7.1. Generación de información histórica de partida.

El paso inicial para la construcción del modelo parte de la generación de la información espacial de las coberturas de los asentamientos en diferentes épocas. Este recurso se elabora a partir de la observación e interpretación de imágenes satelitales de Google Earth (CNES/AirBus) de 2003, 2014 y 2018, que corresponden a los cambios más severos identificados en la zona de estudio en las últimas dos décadas.

La resolución espacial (tamaño de píxel) de las imágenes satelitales es de 4 metros, lo que permite identificar objetos de 16 m² de superficie. Esta resolución facilita la identificación de construcciones con tales dimensiones, observadas durante el trabajo de campo y que son conocidas como “mediaguas” (Figura 56 a – e). Estas construcciones son generalmente temporales y típicas de los asentamientos que en inicio suelen ser utilizadas para guardianía y bodegas de materiales de construcción, aunque en la mayoría de casos también se reside en ellas. Estas edificaciones son un claro signo de propagación futura de construcciones o asentamientos de mayor o igual envergadura (Figura 57 a – c).

a)



b)



c)



d)





Figura 56. Edificaciones conocidas como mediaguas asentadas en la zona de estudio.
Las imágenes a) y b) muestran mediaguas en zonas de expansión en la zona de estudio, las imágenes c), d) y e) muestran mediaguas en zonas en proceso de densificación urbana (2021). Para facilitar su identificación, algunas de ellas se han señalado con un círculo de color rojo.

Fuente: elaboración propia.





Figura 57. Propiedades con mediagua como origen de las edificaciones posteriores.

La imagen a) muestra una mediagua junto a una residencia más grande habitada, la imagen b) muestra una mediagua junto a una construcción más grande en proceso de construcción y la imagen c) representa una mediagua dentro de una propiedad más grande (2021).

Fuente: elaboración propia.

La interpretación de las imágenes satelitales se basó en la concepción de formas tradicionales de ocupación del suelo de la zona de estudio, que incluyen principalmente la creación de parcelas (fraccionamientos de grandes extensiones de terrenos) destinadas a la comercialización o a la agricultura, fácilmente identificables a través de linderos naturales o antrópicos (Figura 58 a – c).



Figura 58. Propiedades fraccionadas.

Las imágenes a), b) y c) muestran subdivisiones de propiedades para la comercialización de tierras (2021).

Fuente: elaboración propia.

Paralelamente se identificaron, las aperturas de caminos y vías de acceso, en algunos casos legales (ejes viales) y en otros artesanales informales, que se pueden diferenciar por el material de rodaje que lo componen (Figura 59 a - c).

a)



b)





c)

Figura 59. Apertura de caminos informales conectados a vías formales.

Las imágenes a), b) y c) muestran algunos casos de caminos abiertos de manera artesanal conectados a vías formales en la zona de estudio (2021).

Fuente: elaboración propia.

Por último, la construcción tipo que ha ocupado la zona de estudio tiene, en general, las mismas características que la que se han instalado en la parroquia de Calderón; son construcciones de hormigón armado con loza descubierta (terrazas), elementos que se identifican de manera clara en las imágenes satelitales y fotografías aéreas (Figura 60 a y b).



a)



b)

Figura 60. Construcción y tipo de material típicos de la zona de estudio.

Fuente: a) elaboración propia, b) imagen tomada de La Hora, 2020.

Durante la interpretación de los elementos presentes en las imágenes satelitales se consideraron no solo las construcciones de tipo residencial, también se incluyó todo elemento de construcción civil, debido a que, por costumbre, las infraestructuras industriales que anteriormente eran comunes en el sector, así como las instalaciones destinadas a la agricultura, son utilizadas como base estructural para transformarlas en residencias (Figura 61).



Figura 61. Estructura industrial tomada para reutilizarla en residencia.

Fuente: elaboración propia (2020).

Después de identificar los elementos básicos según las consideraciones mencionadas, el siguiente paso fue digitalizar las imágenes satelitales.

La elaboración de las coberturas geográficas vectoriales en formato “*shape file*” se genera a través de polígonos digitalizados a escala 1:15.000. En primer lugar, se discriminan las áreas en las cuales se conoce que no será posible ubicar asentamientos como, por ejemplo, las zonas ocupadas por los ejes viales y carreteras, a los que se les han asignado valores nulos; en segundo lugar, se digitalizan los espacios ocupados por las edificaciones.

El resultado de esta digitalización son capas binarias (una para cada año de referencia) con valor “1” para las construcciones o asentamientos y valor “0” para cualquier otro uso del suelo (generalmente sin construcción).

Por último, las capas digitalizadas a partir de las imágenes tienen formato vectorial (vectores – polígonos) y son procesadas geográficamente y transformadas a formato ráster (Figura 62 a – c).

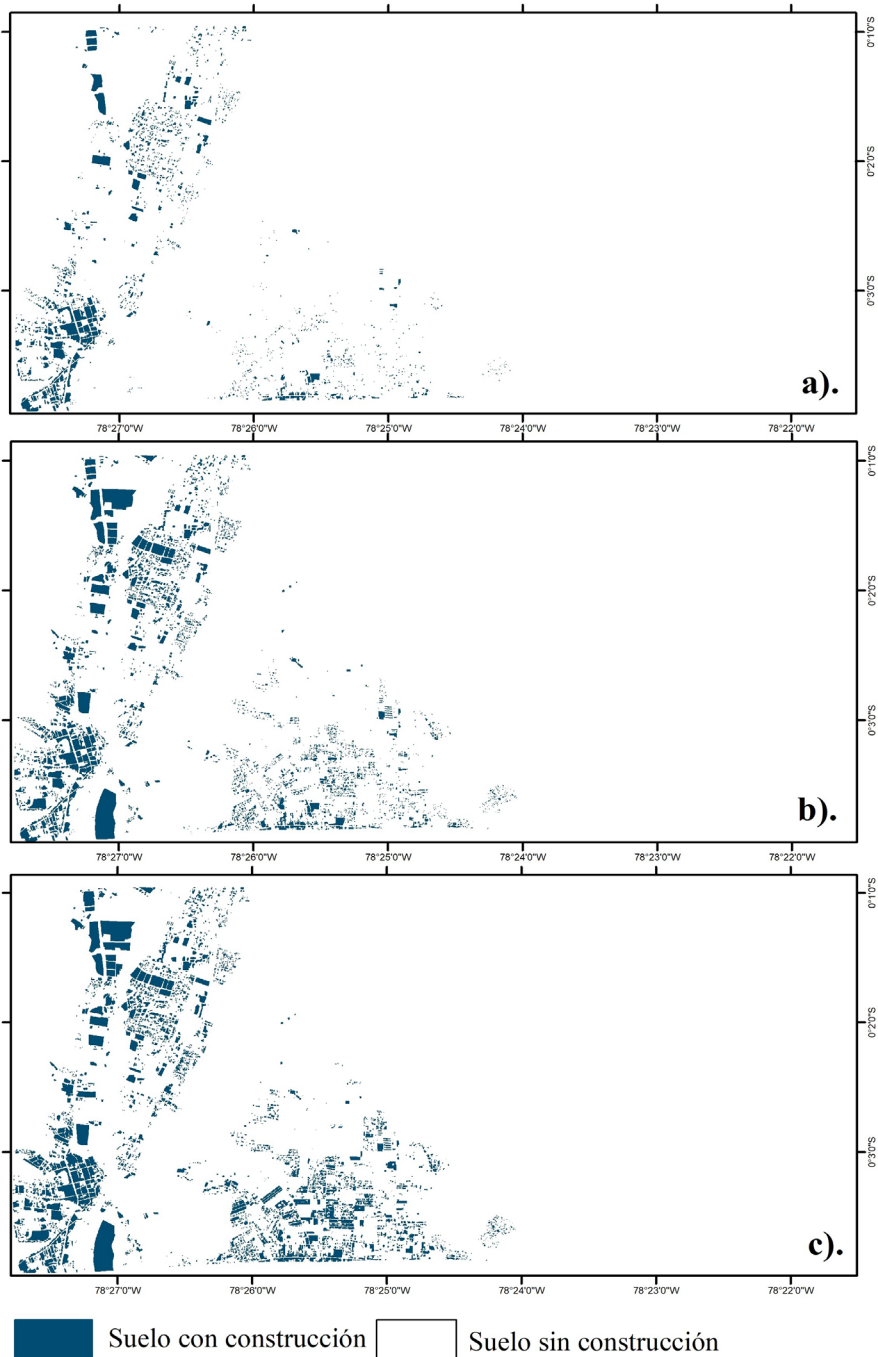


Figura 62. Coberturas ráster de la digitalización de los asentamientos, zona de estudio.

Año 2003 (a), año 2014 (b) y año 2018 (c).

Fuente: elaboración propia a partir de Google (CNES/AirBus) de los años correspondientes.

7.2. Selección de los factores que conducen la proliferación de los asentamientos en la zona de estudio – variables predictoras.

Para elegir las variables predictoras que expliquen el crecimiento urbano en zona rural del área de estudio, en primer lugar, se realizó un ejercicio de interpretación de imágenes satelitales entre 2017 y 2018 apoyado de observaciones directas en campo, con el objetivo de identificar el comportamiento de urbanización del sector. Complementariamente, se realizó la revisión de diferentes trabajos de modelamiento urbano, que permitió identificar las variables que comúnmente se han considerado en estudios de características similares (Tabla 8).

Para la zona de estudio en particular, las consideraciones iniciales detalladas en la sección 6.3 (Consideraciones y generación de la información de partida), encajan en el dinamismo observado. Después de analizar la forma de ocupar el suelo en esta periferia, se detectaron los detonantes que motivan la aparición de construcciones civiles que, después de determinado tiempo, se convierten en propagadoras de otras edificaciones (asentamientos), como las siguientes:

- Suelo fraccionado por herencias (generalmente informales) o por comercialización a partir de la creación de urbanizaciones privadas o la venta de terrenos individuales. El 90% la zona de estudio (Figura 18) tiene asignado como zonificación la “ZC.- para las áreas de promoción especial, desarrollo de proyectos urbanísticos concertados y zonas especiales de desarrollo económico”, por lo tanto, habilita a una construcción no restrictiva (Martínez, 2020).
- La costumbre entre los propietarios de este tipo de crecimientos urbanos es la de edificar una primera construcción al margen de la normativa como forma de hacerse con la “posesión efectiva” de la propiedad, lo

que origina asentamientos fragmentados; a este fenómeno se contraponen la comercialización de terrenos que en el mejor de los casos los promotores edifican urbanizaciones formales, y que al mismo tiempo representan un “imán” para construcciones aledañas.

- Apertura de accesos en forma de pasajes, calles o vías, debido al fraccionamiento de las propiedades y a la edificación, que se conectan a la red viaria existente y que en la mayoría de los casos son mancomunados, de forma que sirven a varias propiedades.
- Por último, la instalación de los servicios básicos en estas zonas eleva las probabilidades de urbanización. Un hecho importante es que la Empresa Eléctrica Quito, bajo un enfoque comercial, cubre aceleradamente las zonas sin tendido eléctrico domiciliario a través de la instalación de postes, incluso en lugares donde no existe un eje vial formal (sin existencia de aceras) (Figura 63).



Figura 63. Tendido eléctrico domiciliario en zona de asentamientos dispersos.

Fuente: elaboración propia (2020).

Otras variables, a pesar de no considerarse detonantes de la ocupación del suelo, contribuyen a crear ambientes y condiciones propicias que potencian la proliferación de asentamientos. Las variables asociadas a la situación y condiciones socioeconómicas de los habitantes determinan la evolución del crecimiento urbano; por ejemplo, el nivel de instrucción, considerando que el porcentaje de analfabetismo, junto con los ingresos económicos del hogar explican en parte el fenómeno estudiado. En forma similar, la emigración externa, es decir, la existencia de algún familiar emigrado al extranjero que haga una inyección de capital a la familia, estimula la construcción de nuevas edificaciones que han alterado el tipo de vivienda tradicional. Las capas vectoriales que representan estas variables se construyeron con información procedente del Censo de Población y Vivienda de 2010 y proyectos de aptitud física del territorio (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2018).

Por lo tanto, tomando en cuenta las consideraciones iniciales y las mediciones de campo de la periferia, en la Tabla 9 se muestran las variables predictoras que fueron seleccionadas y el proceso geográfico utilizado para espacializar su influencia en el sector.

Tabla 9. Variables predictoras escogidas para la calibración del modelo.

Variable	Escala	Fuente de la información	Proceso de Información	Fecha	Naturaleza
1. Vías y Calles	1:5.000	Municipio de Quito	Distancia Euclidiana	2018	Variable Física
2. Agua y Saneamiento	1:10.000	Empresa de Agua Potable y Saneamiento	Distancia Euclidiana	2018	Variable Física
3. Tendido Eléctrico	1:5.000	Empresa Eléctrica de Quito	Distancia Euclidiana	2018	Variable Física
4. Pendiente Terreno	1:1.000	Municipio de Quito	Interpolación y reclasificación	2010	Variable Física
5. Plan de Uso del Suelo	1:5.000	Municipio de Quito	Reclasificación	2016	Variable Física
6. Aptitud Agrícola	1:5.000	Instituto Geográfico Militar	Reclasificación	2018	Variable Física
7. Instituciones de Educación	1:5.000	Municipio de Quito	Distancia Euclidiana	2014	Variable Física
8. Instituciones de Salud	1:5.000	Municipio de Quito	Distancia Euclidiana	2014	Variable Física
9. Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes	1:1.5000	Digitalización Imágenes Satelitales	Distancia Euclidiana	2018	Variable Física
10. Analfabetismo	1:5.000	Instituto Geográfico Militar	–	2018	Variable Social
11. Emigración Externa	1:5.000	Instituto Geográfico Militar	–	2018	Variable Social
12. Nivel de instrucción	1:5.000	Instituto Geográfico Militar	–	2018	Variable Social
13. Intención	1:1.000	Entrevistas de campo y Municipio de Quito	Digitalización	2018	Variable Social

Fuente: elaboración propia.

La información espacial correspondiente a las variables predictoras fue recolectada de las bases de datos geográficas de diferentes instituciones nacionales en formato geográfico “*shape file*”. Antes de incluir esta información en la construcción del modelo, tuvieron que ser transformadas al tipo de formato que demanda este. Así, todas las variables predictoras fueron rasterizadas manteniendo una dimensión estándar en todas ellas de 2.450 píxeles en fila y 1.386 píxeles en columna, con un tamaño de píxel de 4 metros.

Para los casos de las variables predictoras, (1) “Vías y Calles”, (2) “Agua y Saneamiento” y (3) “Tendido Eléctrico”, se levantó información complementaria para actualizar las nuevas aperturas viales, nuevas redes de agua potable y los nuevos tendidos eléctricos que el sector presenta en el año de referencia (2019).

Las variables 1, 2, 3, 7, 8 y 9, con información es de tipo vectorial (líneas o puntos), son espacializadas aplicando “distancia euclidiana” que genera la distancia en línea recta a los elementos claves considerados. Por ejemplo, en la Figura 64 se muestra el proceso mencionado con las instituciones de educación representadas por puntos y las redes de agua y saneamiento representadas por líneas. De esta forma, se generan coberturas geográficas de tipo ráster en las que cada celda tiene asignada la distancia en metros a cada elemento, presente en cada una de las capas. La variable (4) “Pendiente del Terreno” se generó a partir de las curvas de nivel del área de estudio (vector de línea); a esta información (curvas de nivel) se interpoló generando un Modelo Digital del Terreno (MDT) y, a partir del MDT, se generó la cobertura de pendientes “slope” en formato ráster, es decir, cada celda o píxel almacena, la inclinación en grados de las pendientes (Figura 65).

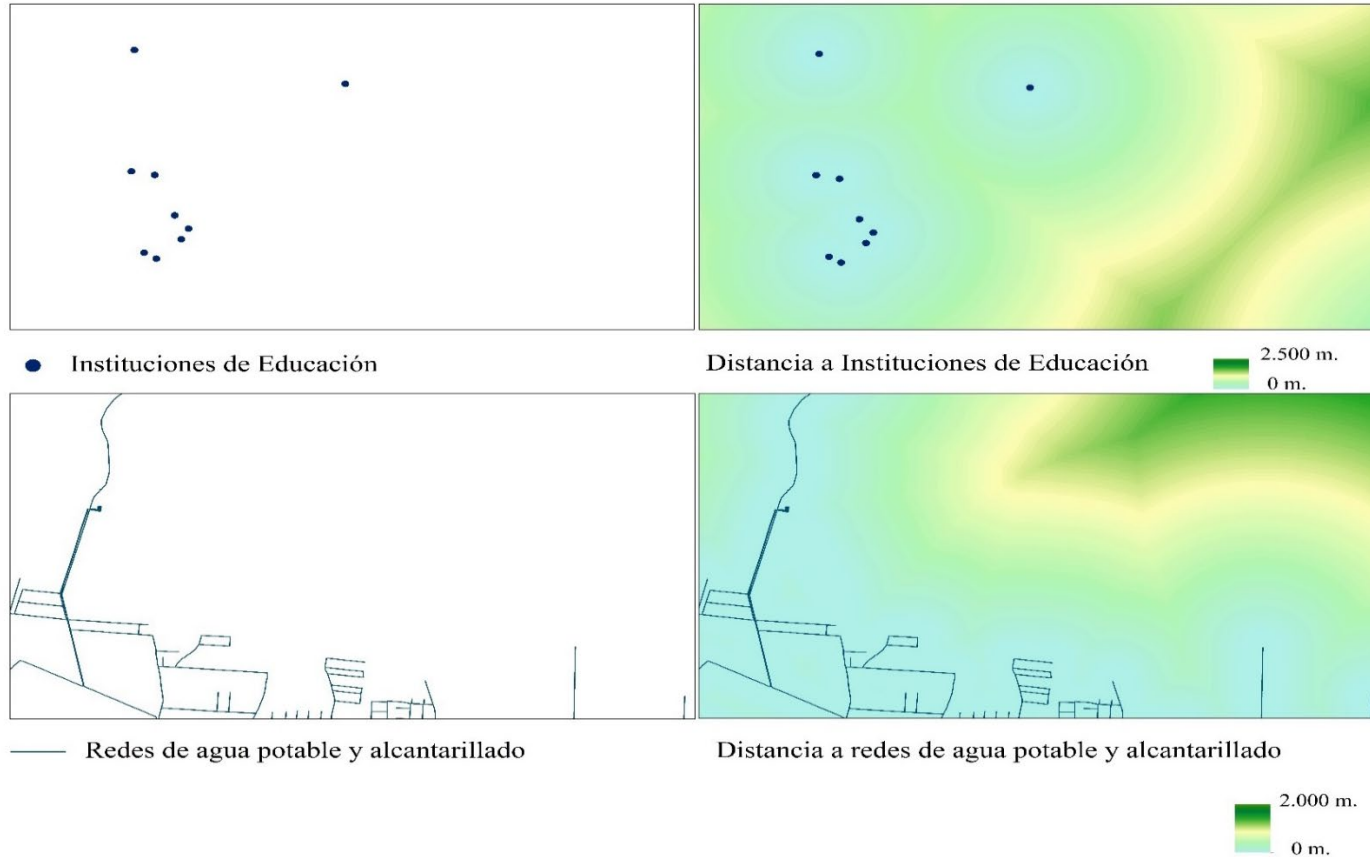


Figura 64. Coberturas vectoriales (imágenes de la derecha) y ráster (imágenes de la izquierda) procesadas con distancia euclidiana.

Fuente: elaboración propia.

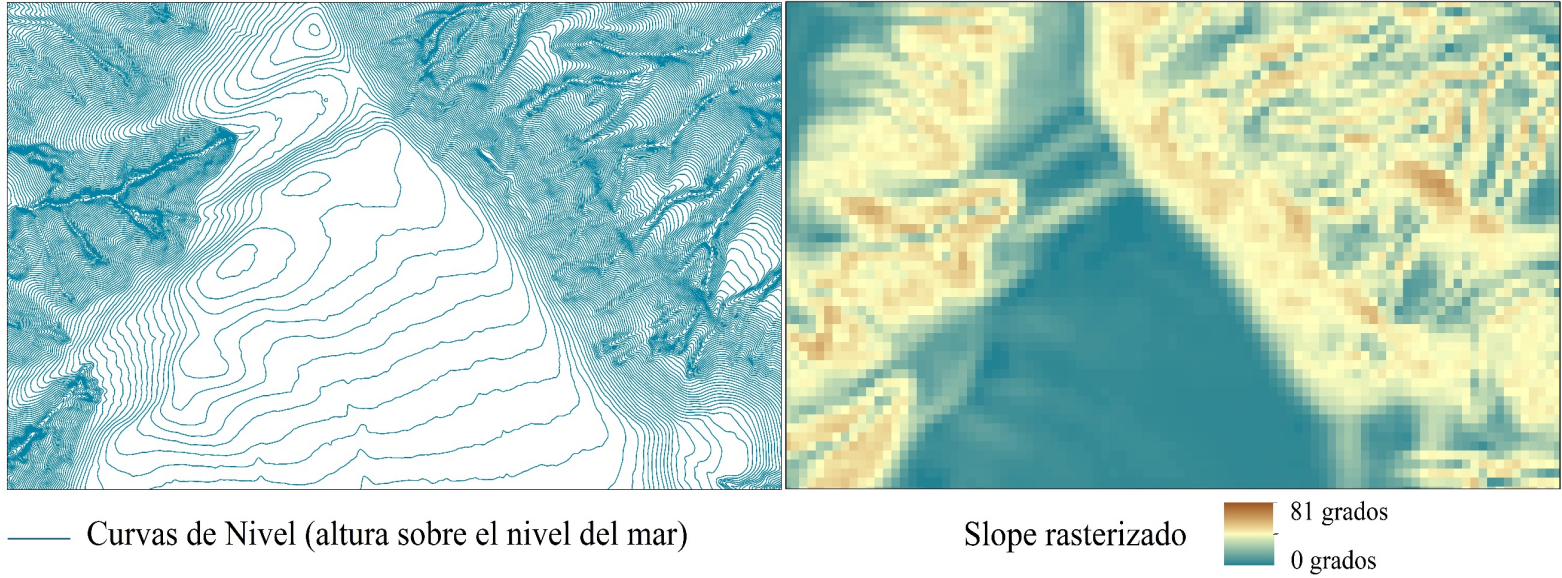


Figura 65. Cobertura vectorial curvas de nivel (derecha) y ráster (izquierda) mapa de pendientes rasterizado.

Fuente: elaboración propia.

Las variables categóricas se han generado a partir de información vectorial de tipo polígono que posteriormente fueron rasterizadas para adecuar su formato a las necesidades del modelo. A continuación, se detalla el contenido de las mismas:

Los Usos del Suelo (5) se han extraído del Plan de Uso del Suelo (Ordenanza Metropolitana 127, 2016). Las categorías presentes en la cobertura son las siguientes:

- Uso Residencial: es el que tiene como actividad principal la vivienda y en el que se permite el desarrollo de equipamientos y actividades complementarias de comercio y servicios compatibles.
- Uso Agrícola Residencial: en suelo urbano, están localizados próximos a las áreas urbanas consolidadas, donde existen viviendas y actividades agrícolas, pecuarias y pesca de autoconsumo o consumo local. En suelo rural, son áreas con lotes de superficies menores a 5.000 m², con baja densidad, donde existen viviendas dispersas y actividades agrícolas, pecuarias y pesca de producción para consumo local.
- Uso Múltiple: uso asignado a los lotes con frente a ciertos ejes viales y áreas ubicadas en centralidades en los que se puede implantar y desarrollar actividades residenciales, comerciales, de servicios y equipamientos, así como industria manufacturera de bajo impacto de escala barrial.
- Uso Industrial: es el uso destinado a la elaboración, transformación, tratamiento y manipulación de materias primas para producir bienes o productos, en instalaciones destinadas a este fin.
- Uso Equipamiento: destinado a la implantación y desarrollo de actividades relacionadas con servicios sociales, de educación, cultura, salud, bienestar social, recreativo, deportivo y culto; y públicos de

seguridad, administración pública, servicios funerarios, transporte, infraestructura y equipamientos especiales.

- Uso Protección Ecológica/Conservación del Patrimonio Natural: comprende el uso destinado a la conservación del patrimonio natural, lo que incluye actividades de protección y conservación de la diversidad biológica que constituye: flora, fauna, ecosistemas, quebradas, elementos relevantes del paisaje natural y servicios ambientales asociados.
- Uso Recursos Naturales / Producción Sostenible: corresponde a las áreas cuya aptitud presenta condiciones biofísicas y ambientales para ser utilizada en producción agrícola, pecuaria, forestal, silvícola, actividades recreativas, ecoturísticas, de conservación o de protección agraria, y otras actividades productivas.
- Uso Recursos Naturales No Renovables: corresponde al suelo destinado a la actividad minera, exploración y explotación del subsuelo para la extracción y transformación de los materiales y minerales para la industria artesanal y la construcción, o para la exportación.

La Aptitud Agrícola (6) representa la aptitud del suelo para uso agrícola, y se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico en el suelo al ser utilizada para determinados usos o coberturas agrícolas de la tierra (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2018). Las categorías de esta cobertura son las siguientes:

- limitaciones muy fuertes – conservación,
- tierras de protección – limitaciones muy fuertes,
- tierras aptas para aprovechamiento forestal – limitaciones muy fuertes
- limitaciones fuertes a muy fuertes,
- ligeras limitaciones y,

- muy ligeras limitaciones.

La cobertura Analfabetismo (10) muestra de forma espacializada el número de personas analfabetas que existen en el área de estudio, tomando como referencia el último censo de población y vivienda del año 2010 y personas mayores a 15 años; muestra el porcentaje de analfabetismo por sector censal (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2018).

De la misma forma, con base en la información censal del Ecuador del año 2010 se ha generado la capa de emigración externa (11). En esta cobertura se espacializa la población migrante residente fuera del país. Se observa que el destino principal de este sector es Europa, siendo España el principal país receptor de migrantes.

En la cobertura Nivel de Instrucción (12) se espacializa el nivel de instrucción predominante de la población. La unidad de asignación para dicha representación es el sector censal (disperso o amanzanado que agrupe población rural). La cobertura utiliza la información correspondiente al censo de población y vivienda de 2010 y se categoriza en:

- Preescolar: es la educación para niños y niñas de 5 años cumplidos, con el sistema vigente corresponde al primero de básica.
- Primario: comprende la educación recibida de primero a sexto grado de instrucción.
- Secundario: comprende a la educación recibida de primero a sexto curso de educación media.
- Educación básica: comprende desde el primero hasta el décimo año de básica.
- Educación media: corresponde a primero, segundo y tercer año de bachillerato, posterior a la educación básica.

- Ciclo postbachillerato: se refiere a los graduados en institutos técnicos superiores, institutos tecnológicos e institutos pedagógicos.
- Superior: educación que se imparte en universidades y escuelas politécnicas, nacionales y extranjeras, luego de haber terminado el bachillerato.
- Postgrado: se refiere a personas que tras haber terminado el nivel de instrucción superior han continuado sus estudios para obtener masterado/maestría, diplomado, doctorado, etc.
- Se ignora: la persona encuestada desconoce el nivel de instrucción.
- Ninguno: personas que no han asistido a ninguno de los niveles de instrucción anteriormente descritos.

Con el objetivo de complementar las consideraciones iniciales y los supuestos patrones de crecimiento urbano en la zona de estudio, se trasladó la información levantada a través de las entrevistas en combinación con la información del catastro predial del municipio del DMQ a una cobertura geográfica compatible. Esto permite construir la variable Intención (13), una variable adicional para calibrar los modelos. La cobertura toma como base fue la de los predios oficiales registrados en el catastro y las localizaciones geográficas donde se ejecutaron las entrevistas. De esta forma, se asignó a los polígonos de las propiedades el valor “tiene intención”, o en su defecto, “sin intención”, refiriéndose a la probabilidad de construir más edificaciones en algún momento dentro de su propiedad y/o particionar la tierra con fines hereditarios o comerciales. La cobertura resultante de este procedimiento se refleja en la Figura 92.

La asignación de esta información se llevó a cabo manualmente, predio a predio, colocando “sin intención” en aquellas propiedades sin intervención antrópica ni información catastral, así mismo, en las que los resultados de

las entrevistas confirmaron el desinterés en que fueran edificadas. En su defecto, si existía alguna señal que se interpretaba como intención de ocupación del suelo a partir de evidencias observables en el mismo lugar o a partir de la información proporcionada por el mismo dueño, se le asignó al predio la categoría “con intención”.

7.3. Construcción del modelo de predicción del crecimiento urbano.

Una vez generadas las coberturas geográficas ráster del crecimiento urbano histórico y de las variables predictoras, se construye el modelo que se organiza a partir de las siguientes fases: generación de las matrices históricas de transición, calibración del modelo con métodos de pesos de evidencia, correlación de variables, validación del modelo y generación de escenarios futuros.

En los trabajos consultados, el modo en el que se combinan las variables predictoras es determinante en la calidad de las proyecciones que generan los modelos construidos, sobre todo al combinar variables físicas y variables de tipo social. En esta investigación, el modelo cuenta con dos versiones; por un lado, la versión que considera solamente variables físicas y, por otro lado, aquella que se genera a partir de la combinación de variables físicas y sociales.

Las dos versiones se traducen en dos momentos ejecutados de los que se dan más detalles en el apartado de resultados:

- El primer momento combina las siete variables predictoras físicas (variables 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8 de la Tabla 9) más comunes entre los trabajos científicos consultados. Después de determinar las correlaciones entre ellas, se ensayan varias configuraciones de los

autómatas celulares con el objetivo de determinar el mejor grado de predicción para generar los escenarios futuros.

- En el segundo momento, se incorporan a las variables predictoras físicas, las variables sociales y una variable de aptitud agrícola para complementar los resultados obtenidos en el proceso anterior.

7.3.1. Generación de matrices históricas de transición.

La metodología de autómatas celulares necesita conocer las reglas por las cuales se rigen los cambios de los estados de las células (píxeles o celdas); en este caso, esas reglas son las diferentes probabilidades que determinarán el próximo cambio de estado. De esta forma, las matrices de transición y las probabilidades calculadas a través de la metodología de pesos de evidencia registrarán las condiciones de evolución del fenómeno estudiado.

En este trabajo, la transición se refiere al proceso de edificación, calculado a través de una matriz de transición (matriz de probabilidad de cambio – Matriz de Markov) que refleja las cantidades netas de cambio comprendidas entre cada periodo; esto significa que se calcula el porcentaje de área que ha cambiado de estado entre los años de referencia (2003 – 2018).

Este procedimiento se basa en representar los cambios producidos en periodos discretos de tiempo, resultando que el valor de la variable estudiada en un tiempo específico es la suma de los porcentajes previos de la variable (JRC - Joint Research Centre, 1994). Es decir, que determina la cantidad de cambios de un estado a otro, en este caso del estado “suelo sin edificación (0)” al estado “suelo con edificación (1)”.

La información generada a partir de la interpretación de las imágenes satelitales del área de estudio de 2003 y 2018, expuesta en la Figura 62, es

comparada para determinar los valores de cambio entre las dos coberturas; obteniendo las proporciones de cada uno de los estados que han cambiado en los 15 años (periodo 2003 – 2018). En esta metodología, la matriz de probabilidad T, calculada para m años, se utiliza para calcular la proyección de x_{t+m} , con base en la fórmula número uno (1).

$$(1) x_{t+m} = x_t \cdot T$$

Donde, x_t es una matriz fila que multiplica a la matriz T, y representa la proporción de cada estado en tiempo t (Hasegawa y Takada, 2019).

En la Figura 66 se muestra un pequeño fragmento de la zona de estudio que registra cambios en el periodo considerado (2003 – 2018), donde se diferencia el cambio de uso del suelo por la aparición de edificaciones asentadas aledañas.

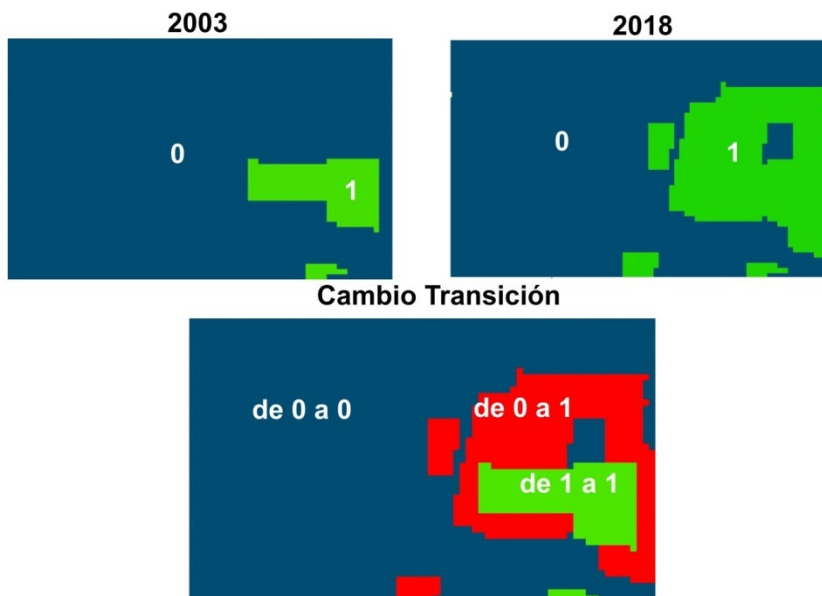


Figura 66. Extracto de zona de estudio que presenta cambios en el periodo 2003 – 2018, se presentan las transiciones entre los valores considerados (0 y 1).

Ubicación central Lat. -0,0511707; Long. -78,416931.

Fuente: elaboración propia a partir de la digitalización de imágenes Google Earth y análisis espacial.

La matriz de transición se construye cuantificando el número de píxeles de cada uno de los cambios o permanencias como se estructura en la Tabla 10. Por ejemplo, una celda con valor 0 (sin construcción), puede permanecer en 0, o puede cambiar a valor 1 (con construcción). Para la zona de estudio de este proyecto la matriz de cambio se estructura como la Tabla 11, donde se almacena el número de píxeles o celdas que mantienen o cambian su valor. Así, 3.004.769 celdas que en el Tiempo 1 (T1) (2003) tenían valor 0 (sin construcción) en el Tiempo 2 (T2) (2018) permanecen con valor 0 (sin construcción), mientras que 129.335 píxeles que en el T1 tenían valor 0, cambian su valor a 1 en el año 2018 (T2).

Tabla 10. Matriz de cambio

T1 \ T2	0	1	suma
0	no cambia	0 a 1	Total 0 en t1
1	1 a 0	no cambia	Total 1 en t1
suma	Total 0 en t2	Total 1 en t2	

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Matriz de cambio con valores correspondientes a la zona de estudio.

T1 \ T2	0	1	suma
0	3.004.769	129.335	3.134.104
1	0	71.257	71.257
suma	3.004.769	200.592	

Fuente: elaboración propia con base en la digitalización imágenes Google Earth

Con base en los sumatorios horizontales de la matriz de cambio, es decir, el total de cada categoría en T1 (columna suma de la Tabla 11), se calcula la matriz de probabilidad de cambio (Markov) (Tabla 12).

Tabla 12. Matriz de probabilidad de cambio (Markov).

T1 \ T2	0	1	suma
0	0,96	0,04	1,00
1	0,00	1,00	1,00

Fuente: elaboración propia con base en la digitalización imágenes Google Earth

Por ejemplo, el valor 0,96 de la Tabla 12, se obtiene de dividir 3.004.769, el número de celdas que transicionan de valor 0 a valor 1, entre 3.134.104, el total de las celdas de ese vector fila (columna suma de la Tabla 9). De esta forma, se normalizan o estandarizan los valores a 1.

Para completar el proceso, la matriz fila conformada por los totales de cada categoría en T2 de la matriz de cambio, se multiplica con la matriz de la probabilidad de cambio. En este caso, las matrices quedarán de la siguiente forma:

$$(3.004.769 \quad 200.592) * \begin{vmatrix} 0,96 & 0,04 \\ 0,00 & 1,00 \end{vmatrix}$$

El resultado de esta operación refleja la transición para el periodo 2003 – 2018.

DinamicaEgo®, bajo la misma lógica y de manera programada, aplica estas tasas una y otra vez sobre el remanente de uso de suelo sin edificar cada año durante el periodo determinado (15 años), a través de la función “*Determine Transition Matrix*” (Figura 67).

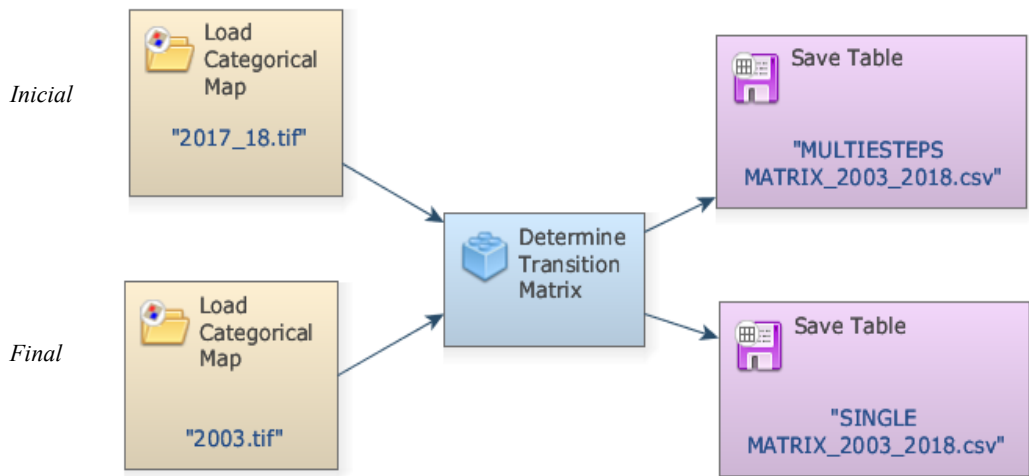


Figura 67. Submodelo “*Determine Transition Matrix*” entre las dos capas binarias (construcción / sin construcción) de 2003 y 2018.

Fuente: elaboración propia sobre DinamicaEgo®.

Dentro de los valores condicionales del submodelo se especifica como cobertura inicial “*Initial landscape*” la cobertura correspondiente al año 2003; como cobertura final “*Final landscape*” la del año 2018; y como tiempo del intervalo transcurrido entre las coberturas, 15 años. De manera que, las matrices resultantes reflejan, por un lado, la tasa total del periodo completo “*multisteps matrix*”; y, por el otro lado, la tasa en cada año “*single steps matrix*”.

7.3.2. Cálculo de pesos de evidencia.

El cálculo de los pesos de evidencia complementa las reglas de transición en que los autómatas celulares deberán basarse. Una vez calculadas las tasa transición del periodo de estudio, se procede a construir, a través del método geoestadístico de pesos de evidencia del fenómeno, los mapas de

probabilidad de transición que guiarán las reglas de los AC, con base en todas las variables predictoras elegidas (Tabla 9).

DinamicaEgo® ofrece la funcionalidad de calcular coberturas de probabilidades de transición que muestran las áreas donde el fenómeno estudiado tendrá más oportunidad de ocurrir. Estas capas se calculan a partir de una o varias variables espacialmente independientes entre sí (variables independientes – predictoras) sobre una transición de otra variable espacial (variable dependiente) (Soares-Filho et al., 2009).

Esta metodología se basa en la probabilidad bayesiana a través de un modelo bivariado (Goodacre et al., 1993), lo que significa que el área de estudio con $N\{T\}$ números de celdas (píxeles) contiene una ocurrencia del fenómeno estudiado en cierto número de píxeles $N\{E\}$, de manera que la probabilidad previa de ocurrencia está definida por la fórmula dos (2):

$$(2) P\{E\} = \frac{N\{E\}}{N\{T\}}$$

En el caso del área de estudio de esta tesis, $N\{T\}$ corresponde al número total de píxeles del espacio analizado y $N\{E\}$ a los píxeles clasificados como “con construcción” de las coberturas ráster de los asentamientos de la zona de estudio de 2003 y 2018.

A diferencia de las matrices de transición, en este caso las probabilidades estarán influenciadas por un factor predictor $N\{M\}$, de manera que en cierto modo su presencia, ausencia o comportamiento determinará la ocurrencia o no del fenómeno, es decir, $N\{E \cap M\}$ y se expresa mediante la fórmula número tres (3) cuando el predictor está presente y con la fórmula número cuatro en ausencia del predictor:

(3)

$$P\{E|M\} = \frac{P\{E \cap M\}}{P\{M\}} = P\{E\} = \frac{P\{M|E\}}{P\{M\}}$$

(4)

$$P\{E|\bar{M}\} = \frac{P\{E \cap \bar{M}\}}{P\{\bar{M}\}} = P\{E\} = \frac{P\{\bar{M}|E\}}{P\{\bar{M}\}}$$

La probabilidad condicional se calcula con base a la ausencia o presencia de las variables predictoras y determina la relación entre estas con la localización de los cambios.

Se entiende entonces que los pesos de evidencia están determinados por la presencia del predictor (M) o por la ausencia de este (\bar{M}), y que la intersección de la probabilidad condicional es el área donde el predictor existe ($E \cap M$) (Figura 68). De manera que, la probabilidad posterior de que ocurra un fenómeno en la presencia de un predictor se denota por $P\{E|M\}$ y, en su ausencia, por $P\{E|\bar{M}\}$. Por consecuencia, las probabilidades posteriores de situarse dentro de la influencia del predictor (patrón espacial) M dada la presencia de E se determinan por $P\{M|E\}$ y por $P\{\bar{M}|E\}$. Si se considera el modelo como una formulación de probabilidades cinco (5), las ecuaciones tres (3) y cuatro (4), se formulan como seis (6) y siete (7).

(5)

$$O = \frac{P}{1 - P}$$

(6)

$$O\{E|M\} = O\{E\} \frac{P\{M|E\}}{P\{M|\bar{E}\}}$$

(7)

$$O\{E|\bar{M}\} = O\{E\} \frac{P\{\bar{M}|E\}}{P\{\bar{M}|\bar{E}\}}$$

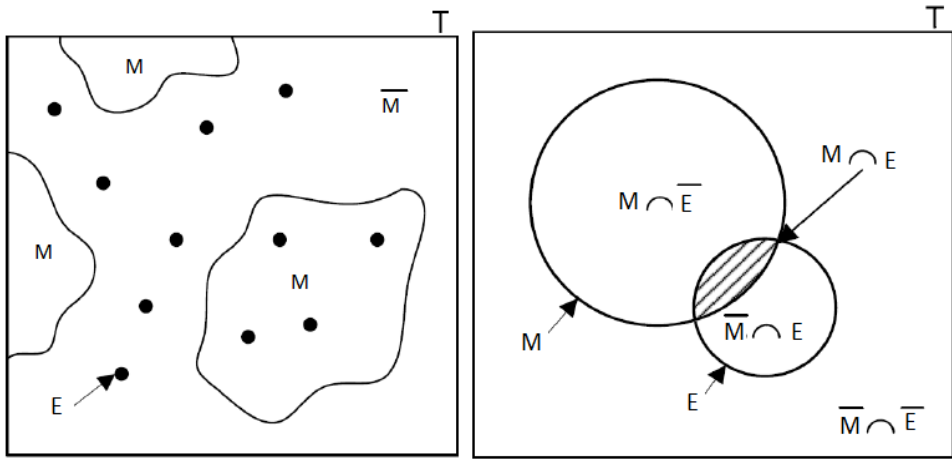


Figura 68. diagramas que ilustra los cálculos de pesos de evidencia.

Fuente: imagen tomada de Bello, 2019.

Los pesos de evidencia (W) de ocurrencia del evento E (construcciones civiles – edificaciones), cuando el predictor está presente, son definidos por la fórmula número ocho (8) y cuando está ausente con la fórmula número nueve (9):

(8)

$$W^+ = \log_e \frac{P\{M|E\}}{P\{M|\bar{E}\}}$$

(9)

$$W^- = \log_e \frac{P\{\bar{M}|E\}}{P\{\bar{M}|\bar{E}\}}$$

Por ende, la probabilidad posterior de la transición, en el caso de este trabajo, de 0 (suelo sin construcciones) a 1 (suelo con construcción) ($0 \rightarrow 1$), bajo un conjunto de variables predictoras (M, V, U, P...N) se expresa de la forma recogida en la fórmula diez (10) (Rodrigues et al., 2007):

(10)

$$P\{0 \rightarrow 1 | M \cap V \cap U \cap P \cap \dots N\} = \frac{e^{\sum W_N^+}}{1 + e^{\sum W_N^+}}$$

Donde, M, V, U, P...N son los valores de las variables espaciales evaluadas en una ubicación geográfica.

Cabe recalcar que el método de pesos de evidencia se aplica solo sobre variables categóricas, por lo que las variables continuas consideradas en este estudio (coberturas de distancia a Vías y Calles, a Agua y Saneamiento, a Tendido Eléctrico, a Instituciones de Educación, a Instituciones de Salud y la variable Pendiente Terreno que está representada por valores del grado de inclinación de las pendientes.) deben ser categorizadas a través del cálculo de intervalos teniendo en cuenta el rango de los datos de cada una de las capas.

En este trabajo se aplica el método adaptado de Agterberg y Bonham-Carter (1990) para calcular las coberturas de pesos de evidencia, el cual define “*buffers*” (áreas de influencia) incrementales con un intervalo mínimo establecido por la interfase gráfica de la cobertura (resolución espacial de la imagen). En cada “*buffer*” construido se evalúa el número de celdas de cada uno (F_n) y el número de celdas del fenómeno (E_n); posteriormente se calculan los pesos de evidencia (W^+) y, finalmente, un gráfico construido por “ F_n ” contra “ $F_n \cdot \exp(W^+)$ ” determina los puntos de quiebre o ruptura a través de un algoritmo generador de líneas que determinan los intervalos de

las categorías de una variable continua. Para este caso, el cálculo de los (W) para cada rango definido se calcula como lo sugiere Goodacre et al. (1993), bajo el siguiente planteamiento recogido en la fórmula número once (11).

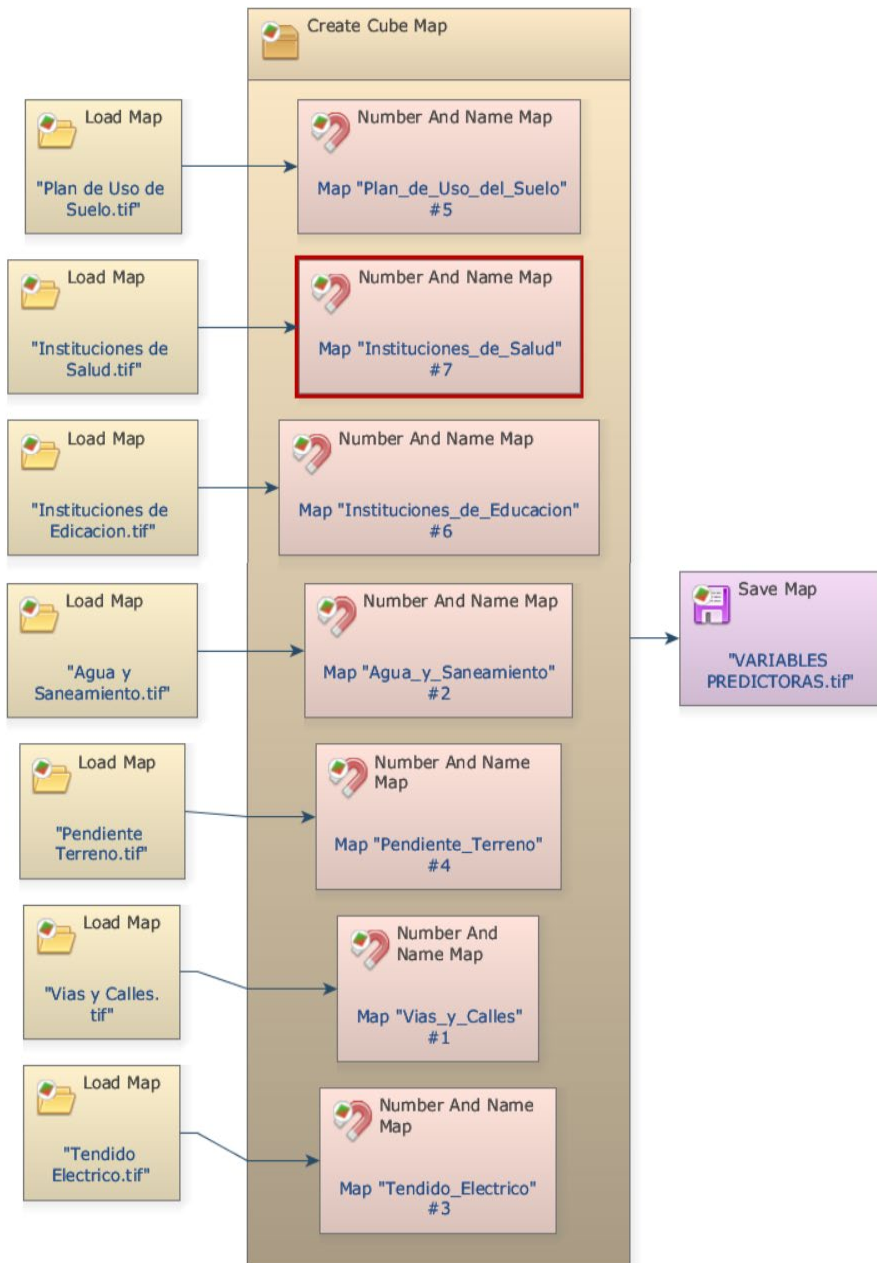
(11)

$$W^+ = \ln \frac{Y_{n=k} - Y_{n=k-1}}{A_{n=k} - A_{n=k-1}}$$

Donde, $Y_n = F_n \cdot \exp(W^+)$ y k son los puntos de quiebre o ruptura definidos de los n incrementos.

Para aplicar el fundamento teórico descrito anteriormente, se construye un cubo de información ráster con las variables predictoras consideradas (Tabla 9) con la ayuda de DinamicaEgo®, mediante su opción de “*Create Cub Map*” (Figura 69).

Como se menciona en la introducción de este capítulo, la ejecución de esta fase del modelo tiene dos momentos debido a que el número de variables utilizadas varía. De esta forma, se crean dos cubos ráster; por un lado, un primer cubo que agrupa las variables físicas, por otro lado, un segundo en el que se incorporan las variables sociales y la aptitud agrícola a las variables físicas.



a)

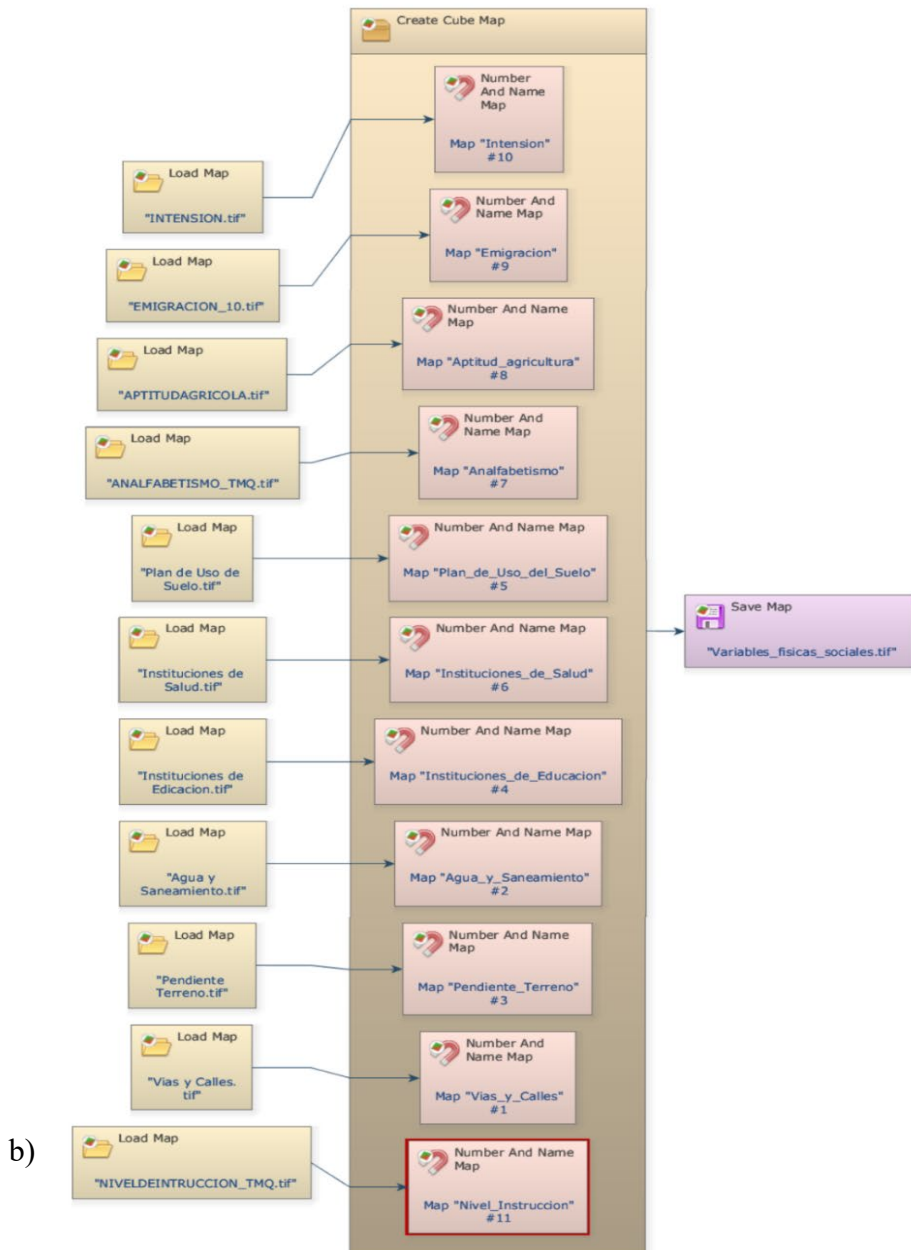


Figura 69. Cubo Ráster creado en DinamicaEgo® a través de "Create Cub Map"

Imagen a) incluye el cubo ráster solo de variables físicas, imagen b) incluyen variables físicas y variables sociales.

Fuente: elaboración propia.

Para calcular los rangos de los pesos de evidencia se utilizó la herramienta “*Determine Weights Of Evidence Ranges*” de DinamicaEgo® (Figura 70). Este modelo incorpora el cubo ráster creado, la cobertura inicial y final de asentamientos urbanos del periodo estudiado (2003 y 2018) y la variable predictora “Probabilidad por Distancia a Asentamientos Existentes” (8) generada con la función “*Calc Distance Map*”.

Esta última variable otorga una probabilidad adicional a las áreas más cercanas a asentamientos ya existentes. En esta función se debe configurar el parámetro que determina a partir de qué categoría se calcularán las probabilidades, en este caso, será la categoría 1 (con construcción) de las coberturas 2003 y 2018 que almacena los asentamientos urbanos.

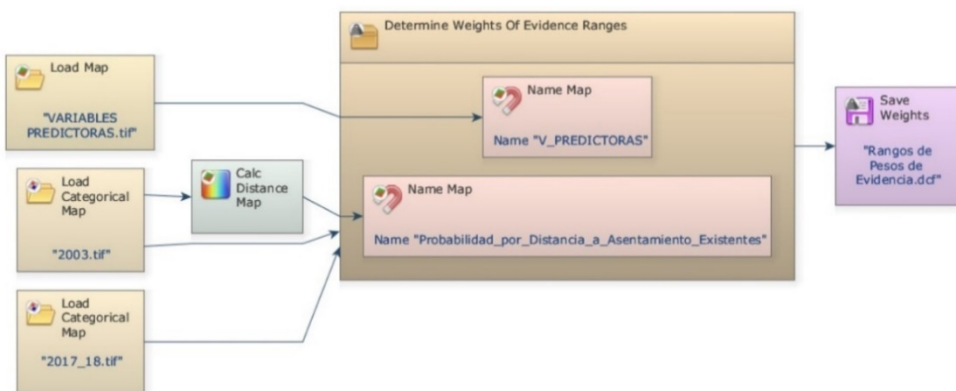


Figura 70. Submodelo de DinamicaEgo® para determinar los rangos para el cálculo de pesos de evidencia.

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros que se configuran en la función “*Determine Weights Of Evidence Ranges*” son dos. En primer lugar, se ha de calificar si las variables son categóricas o continuas y, en segundo lugar, si estas son de tipo continuo,

se configuran los valores para la construcción de los rangos que se utilizarán para convertir las variables continuas a categóricas.

Por último, se calculan para cada rango creado en el proceso anterior los pesos de evidencia utilizando la herramienta “*Determine Weights Of Evidence Coefficients*” que, de forma parecida al modelo de la Figura 70, se alimenta del cubo ráster, de la imagen inicial y final de los asentamientos urbanos del periodo estudiado, de la variable de la Probabilidad por Distancia a Asentamientos Existentes y de los rangos sobre los cuales se calculan los coeficientes de los pesos de evidencia (Figura 71).

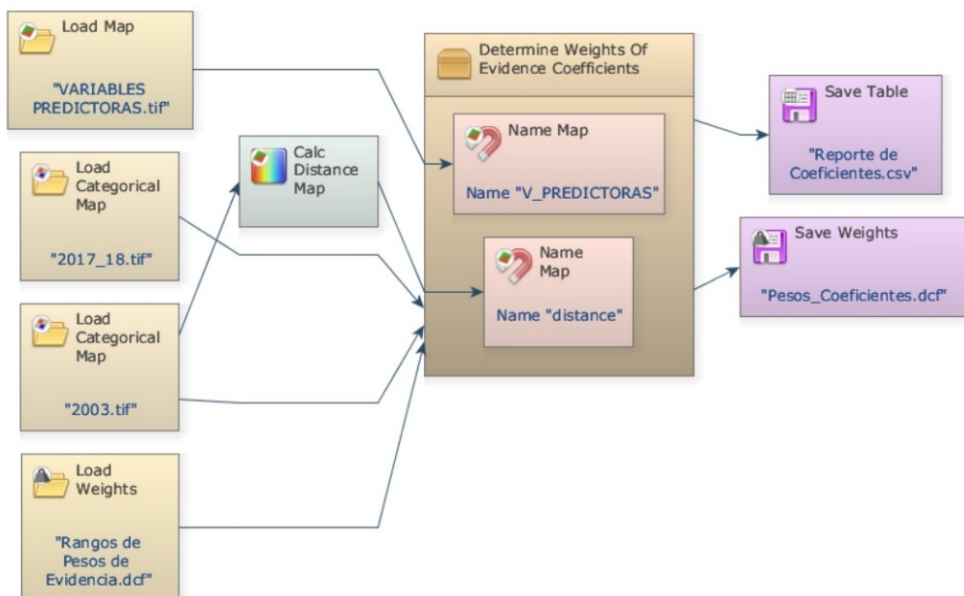


Figura 71. Submodelo para el cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia.

A través de la herramienta *Determine Weights Of Evidence Coefficients* en Dinámica Ego®.

Fuente: elaboración propia.

7.3.3. Análisis de correlación de variables.

El supuesto principal del método de pesos de evidencia recae en que las coberturas analizadas deben ser espacialmente independientes. Bonham-Carter (2016) propone varias medidas para determinar el grado de dependencia entre los mapas considerados, por ejemplo, Chi (J_i) cuadrado, V de Cramer o entropía, entre otros.

El modelo ejecuta pruebas pareadas entre los mapas categóricos, en este caso el análisis se centra en la prueba Cramer, sobre las coberturas de las variables predictoras. Esta prueba se basa en el estadístico de Chi cuadrado de Pearson, que se aplica a un conjunto de datos categóricos para determinar la probabilidad de que las diferencias entre los conjuntos surgieran por casualidad; los valores del coeficiente varían entre 0 y 1, de modo que los resultados que se encuentran cercanos a 1 determinan que las variables son dependientes; al contrario, si los valores son cercanos 0, las variables resultan ser independientes.

La Figura 72 muestra la herramienta de DinamicaEgo® “*Determine Weights Of Evidence Correlation*” que realiza el análisis de correlación de las variables predictoras; esta función se alimenta del cubo ráster que contiene las variables predictoras, los coeficientes de los pesos de evidencia de cada una de las variables y la variable de la probabilidad generada por distancia a los asentamientos preexistentes.

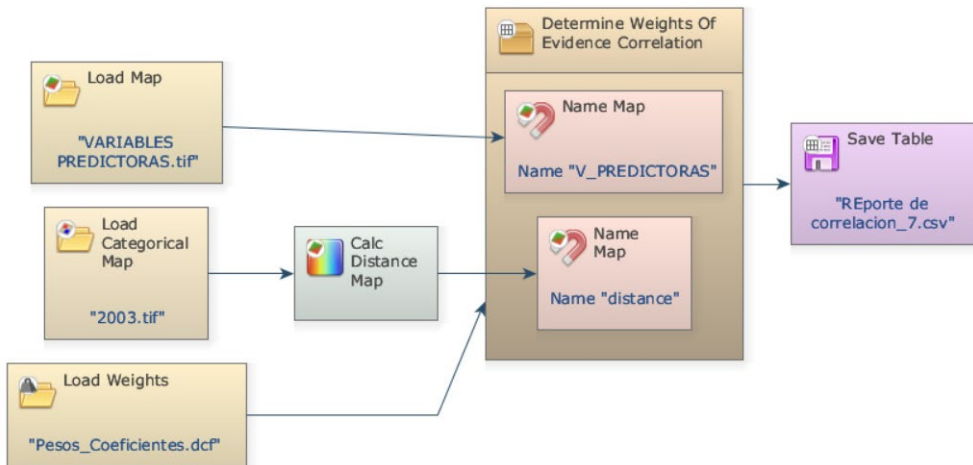


Figura 72. Sub modelo de DinamicaEgo® que calcula la correlación entre las variables.

Se utiliza la herramienta “*Determine Weights Of Evidence Correlation*”

Fuente: elaboración propia.

En definitiva, este proceso cuantifica la relación entre las variables calculado el Chi cuadrado de Pearson y la transforma según la V de Cramer, a un rango entre 0 y 1.

En el siguiente paso del procedimiento se evalúan los valores de Cramer que el informe del modelo arroja. Cohen et al. (2013), después de investigar en profundidad los procedimientos para determinar los límites más representativos del valor de este estadístico, establecen una serie de rangos que ayudan a tomar la decisión de eliminar o fusionar las variables analizadas cuando estas se encuentran correlacionadas. Para este estudio se han considerado como referencia los siguientes rangos para los valores de Cramer:

- 0 a 0,1, no hay efecto o el grado de relación es ínfimo,
- > 0,1 a 0,3, el efecto es pequeño, lo mismo que la relación,
- > 0,3 a 0,5, la relación es moderada, el efecto es medio y,
- > 0,5 a 1, la relación es alta y su efecto también es alto.

Por lo tanto, si el análisis pareado de las variables posee un valor de Cramer superior a 0,5, se debe eliminar una de las variables o, en su defecto, fusionarlas. No obstante, esto es una generalidad, y para cada caso y fenómeno estudiado se podrían aceptar rangos más amplios según un análisis más detallado de cada variable.

7.3.4. Generación de simulaciones aplicando autómatas celulares: pruebas para su validación.

En este paso se generan las coberturas de las simulaciones de asentamientos, desde 2003 hasta 2018, a través de la construcción del modelo que utiliza fundamentalmente autómatas celulares. Las simulaciones creadas permitirán validar los resultados que este modelo ejecuta.

Este modelo, Figura 73, utiliza las funciones de las matrices de transición y los pesos de evidencia que calculan los mapas de probabilidades de transición para cada iteración (cada año durante el periodo considerado, 2003 a 2018), para ello se configura el parámetro de la función “*Repeat*”, la cual controla las iteraciones (número de iteraciones), en este caso es de 15 que corresponde al número de años del periodo.

La función “*Calc Change Matrix*”, permite recalcular las matrices de transición en cada iteración, puesto que, al generar un nuevo mapa de probabilidad y una simulación por año (en cada iteración), las matrices de transición cambiarán.

Como en los submodelos anteriores, en la función “*Calc Distance Map*”, que se encuentra relacionada con la cobertura inicial 2003, se configura la

asignación de la categoría a la que debe aplicarse la probabilidad, en este caso se selecciona la categoría 1 (con construcción).

El modelo genera las simulaciones a través de autómatas celulares, en este caso con la función denominada “*Patcher*” que reproduce patrones de expansión o reducción del fenómeno, basado en la cobertura anterior para simular la siguiente en cada iteración iniciando desde 2003 hasta 2018. “*Patcher*” genera parches de las clases ya existentes, tomando a cada celda (píxel) como núcleo y seleccionando un número de celdas vecinas en función de sus probabilidades de transición (matrices de transición y pesos de evidencia). La función “*Patcher*” tiene una connotación importante, debido a que guía la reproducción de las simulaciones dentro del periodo que posteriormente son utilizadas para la validación del modelo. Tres funciones controlan los patrones de reproducción del comportamiento del crecimiento espacial en la función “*Patcher*”; el tamaño medio del parche “*Patch Mean Size*”, la varianza del tamaño del parche “*Patch Size Variance*” y la isometría del parche “*Patch Isometry*”, que se refiere a la congruencia de los morfismos de los parches generados. Se han tomado en cuenta diversas combinaciones base para experimentar varias opciones que serán corroboradas o no con la validación (las diferentes combinaciones se discuten en la sección de resultados). La variación de los parámetros es crucial para la eficiente reproducción de las futuras proyecciones.

La Figura 73 detalla las funciones que intervienen en el modelo, las entradas: cubo ráster (variables predictoras), los coeficientes de los pesos de evidencia, las matrices de transición y la cobertura inicial del periodo. Los

procesos centrales: cálculo de los mapas de probabilidad, recálculo de las matrices de transición y autómatas celulares “Patcher”.

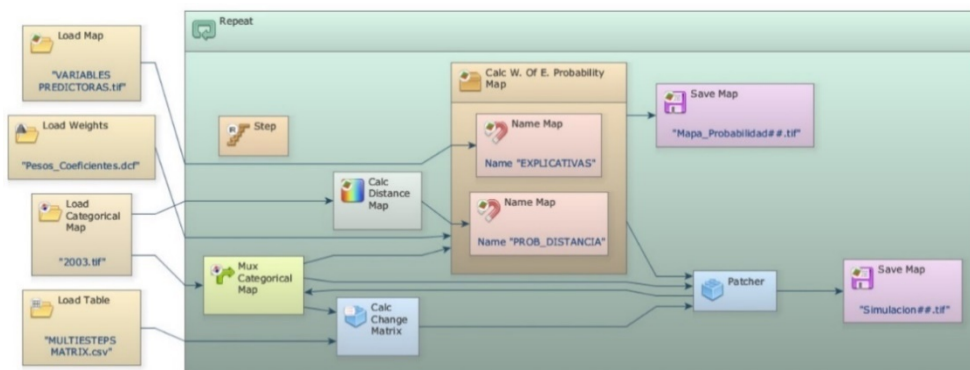


Figura 73. Submodelo Dinámica Ego® que genera mapas de probabilidades y simulaciones con autómatas celulares.

Fuente: elaboración propia.

El modelo antes mencionado se aplica a cada uno de los momentos especificados en la metodología.

7.3.5. Validación del modelo y revisión de las variables de predicción.

Los trabajos de Hagen-Zanker (2009) y Barreira et al. (2015), en los que se desarrollan nuevas técnicas de comparación espacial que incluyen índices como la *Kfuzzy* que equivale a los conocidos estadísticos Kappa y a la similitud *fuzzy*, han sido aplicados en el análisis de sensibilidad para validar modelos basados en autómatas celulares. En esta investigación, la validación

del modelo se basa en una modificación de los estadísticos antes mencionados.

Hasta el paso anterior se generaron las simulaciones correspondientes a cada año a partir de la cobertura del 2003, en total se cuenta con 15 simulaciones. En esta sección se compara la simulación número 15, que corresponde al año 2018, con la cobertura real de 2018 para determinar el grado de predicción alcanzado por el modelo. Considerando que resulta poco provechoso comparar las coberturas celda por celda y que estas coincidan exactamente, la metodología se basa en identificar y evaluar patrones espaciales similares y la similitud espacial entre las coberturas analizadas. Para lograr este cometido se utiliza una función exponencial de decaimiento constante que se aplica a través de ventanas de diferentes tamaños tomando como referencia la celda central y teniendo en cuenta la vecindad incluida en cada una de estas.

La función exponencial de decaimiento constante determina la distribución de los pesos de las celdas que se enmarcan en la ventana de vecindad, es decir, calcula la probabilidad de similitud y se expresa de la siguiente forma en la fórmula número doce (12).

(12)

$$S = \frac{1}{2^{\left(\frac{d}{A}\right)}}$$

Donde d es la distancia desde el centro de la ventana y A es el factor de atenuación que controla la velocidad de decaimiento de los valores de la función.

La Figura 74 muestra el decaimiento de la función a diferentes valores de A.

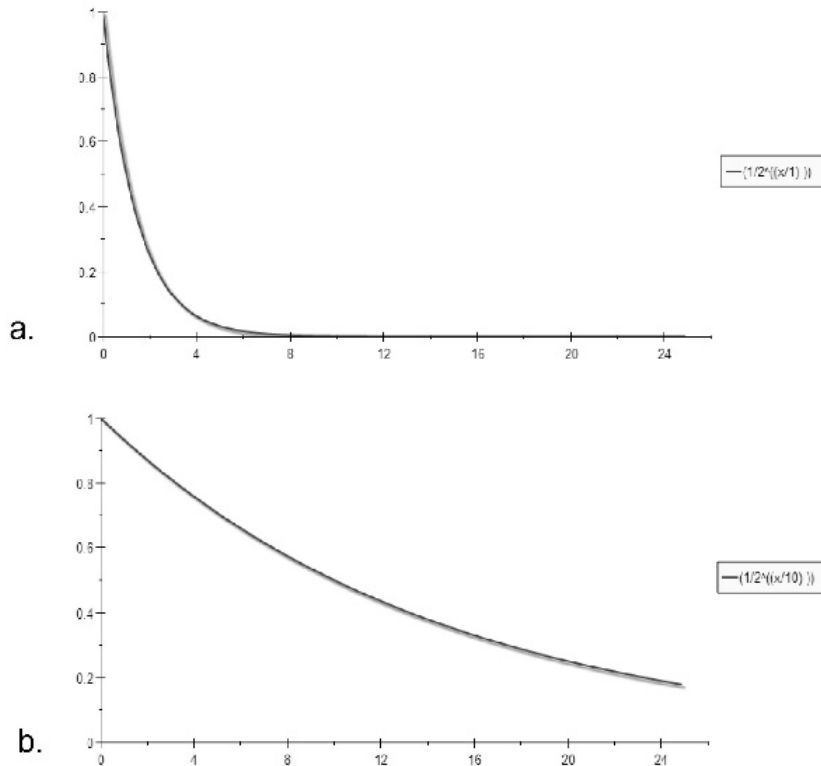


Figura 74. Imagen a) función de decaimiento con factor de atenuación igual a 1, A=1; imagen b) función de decaimiento con factor de atenuación igual a 10, A=10.

Fuente: elaboración propia.

Un ejemplo de una ventana de vecindad de tamaño de 3x3 celdas (píxeles) aplicando la función exponencial de decaimiento con valor de A bajo, cercano a 1, se muestra en la Figura 75.

0.3	0.5	0.3
0.5	1	0.5
0.3	0.5	0.3

Figura 75. Ventana 3x3 con valores de probabilidad, según la función de decaimiento.

Fuente: elaboración propia.

El proceso de validación se basa en identificar las diferencias píxel a píxel entre:

- la cobertura real 2018 y la cobertura real 2013 (A), y
- la cobertura simulada 2018 (cobertura simulada número 15 para el año 2018) y la cobertura real 2013, (B) (Figura 76).

Los resultados de A y B (coberturas de cambio) son coberturas que cumplen las siguientes condiciones: los píxeles que se mantienen iguales en cada par evaluado son asignados con valores nulos, mientras que, para los píxeles que no son iguales en cada par evaluado se conserva el valor del píxel de la cobertura final, real de 2018 o simulada de 2018 según corresponda (Figura 76).

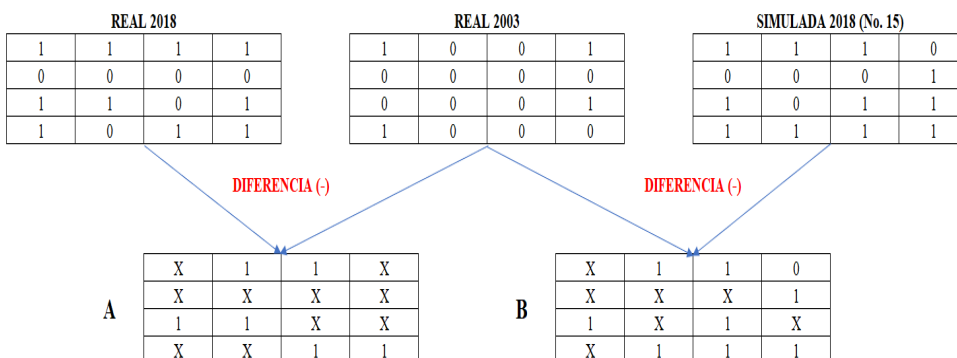


Figura 76. Coberturas de cambio generadas a partir de las coberturas reales inicial de 2003 y final del periodo (2018) y la cobertura simulada de 2018.

Fuente: elaboración propia.

Para ejecutar la evaluación recíproca, una ventana de vecindad con probabilidades como la de la Figura 75, convolucionada sobre cada una de las celdas de cada cobertura de cambio (A y B), asignando las probabilidades de similitud de la ventana entre ellas de forma recíproca, es decir, se evalúan

cada una de las celdas de la cobertura A, considerando la vecindad de la cobertura B, en la misma posición y viceversa (Reciprocidad). De esta forma, se construyen las coberturas de probabilidades de similitud y se determina el grado de predicción a través del promedio de los valores de probabilidad de cada cobertura AP y BP (Figura 77).

La Figura 77 explica que, si se toma el valor de una celda en A, este se evalúa en la misma posición en B con la ventana de vecindad que contiene las probabilidades de la función de decaimiento. En B se selecciona el valor más alto de probabilidad que coincida con el valor de A, entre los que estén dentro de la ventana, en este caso 0,5; y este es asignado al valor analizado en A, el análisis en cada píxel forma AP.

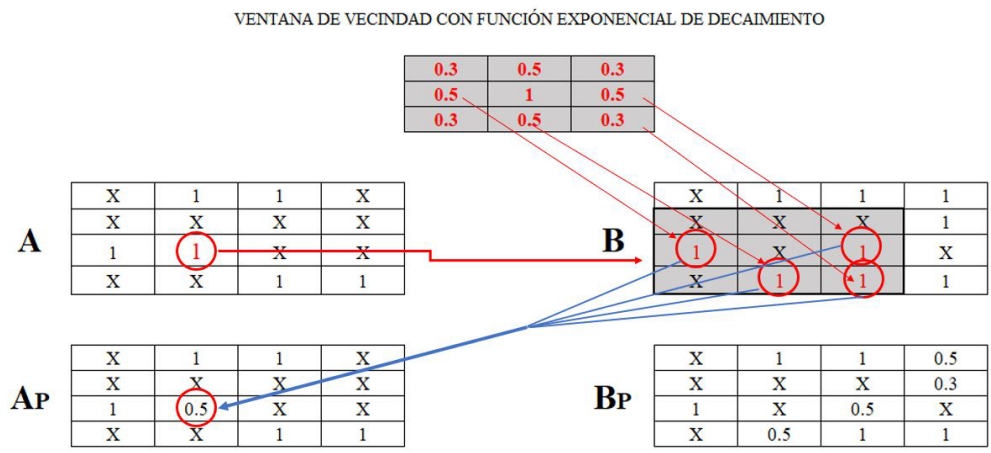


Figura 77. Comparación *fuzzy* y construcción de las coberturas de probabilidad de validación.

Fuente: elaboración propia.

Cuando el valor analizado coincide con el valor central de la ventana de vecindad en la cobertura recíproca, la probabilidad del cambio es del

100,0%, es decir 1. Formadas las matrices AP y BP, se obtiene el promedio de las probabilidades de cada cobertura de probabilidades AP y BP.

Si se sigue el ejemplo de la Figura 77, en la matriz AP resultan solo 6 valores de probabilidades (número de celdas que no son nulas, donde se ha producido un cambio). Por lo tanto, si se suman esas probabilidades, el total obtenido es 5,5 y si se divide ese valor por el número de celdas, se obtiene una probabilidad media de 0,92. En el caso de BP es $6,8/9 = 0,75$. De estos dos valores se escoge el de mínimo valor, que es el que determina el valor de validación final que en el ejemplo será del 75,0% (0,75). En este caso la validación se ejecuta con ventanas de vecindad de tamaño múltiple bajo un determinado número de iteraciones.

El modelo que permite ejecutar la validación se construye mediante la herramienta “*Calc Reciprocal Similarity Map*” de DinamicaEgo® (Figura 78).

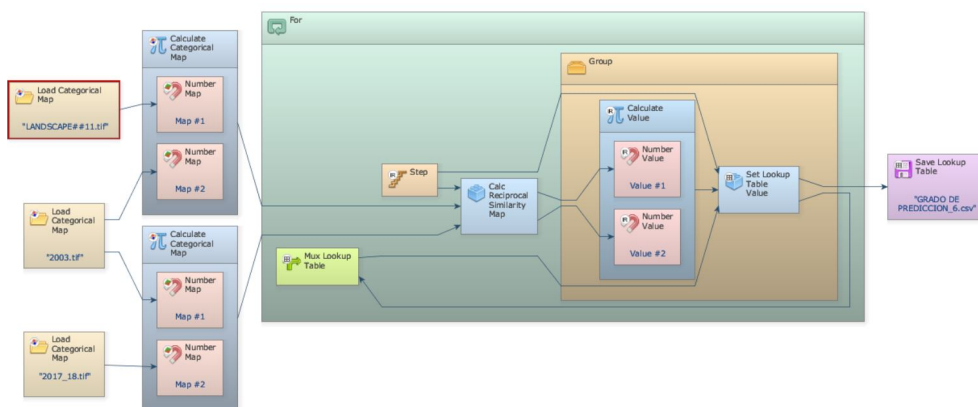


Figura 78. Submodelo construido en DinamicaEgo® que permite ejecutar la validación por similitud recíproca.

Fuente: elaboración propia.

En la función “*Calculate Categorical Map*” se especifica las coberturas: inicial real (2003 real), final real (2018 real) y final simulada (2018

simulada). En la función “*For*”, la cual controla el número de iteraciones y el tamaño de la ventana que convolucionan por las coberturas, así como la ratio de incremento del tamaño de la ventana, se establece 75 como tamaño máximo de la ventana (debido a que el tamaño de la celda es de 4 metros, de esta forma 75 píxeles x 4 metros = 300 metros; 300 metros es la distancia hasta donde se analiza la probabilidad de cambio para validar el valor de una celda) en incrementos de 2.

Por último, en la función “*Calc Reciprocal Similarity Map*” se especifica el factor de decaimiento de la función exponencial con constante de decaimiento. En este caso, se estableció un factor de 15, debido a que se considera que las probabilidades no decaen de manera acelerada con la distancia, incluso a un par de cientos de metros de una edificación, existe alta probabilidad de que se construya otra.

7.3.6. Generación del modelo de crecimiento urbano de la periferia norte de la ciudad de Quito 2018 – 2050.

Después de evaluar la configuración de las variables predictoras y validar la bondad de la predicción del modelo, se procede a la generación de las proyecciones a futuro con autómatas celulares. Este modelo toma como base al modelo de la sección 7.3.4, que genera las simulaciones para validar los resultados, con la diferencia que se aplica una función adicional de AC denominada “*Expander*” que se centra en formar y generar nuevos patrones espaciales a través del mecanismo “semilla”.

En este caso, la cobertura de inicio será la cobertura de 2018 real y el número de iteraciones en la función “*Repeat*” son los años que se desean proyectar;

como se desea obtener los escenarios hasta 2050, se configura con valor 32 (Figura 79).

De la misma forma que en la función “*Patcher*”, la función “*Expander*” debe ser configurada para reproducir los patrones deseados bajo los tres parámetros: el tamaño medio del parche “*Patch Mean Size*”, la varianza del tamaño del parche “*Patch Size Variance*” y la isometría del parche “*Patch Isometry*”.

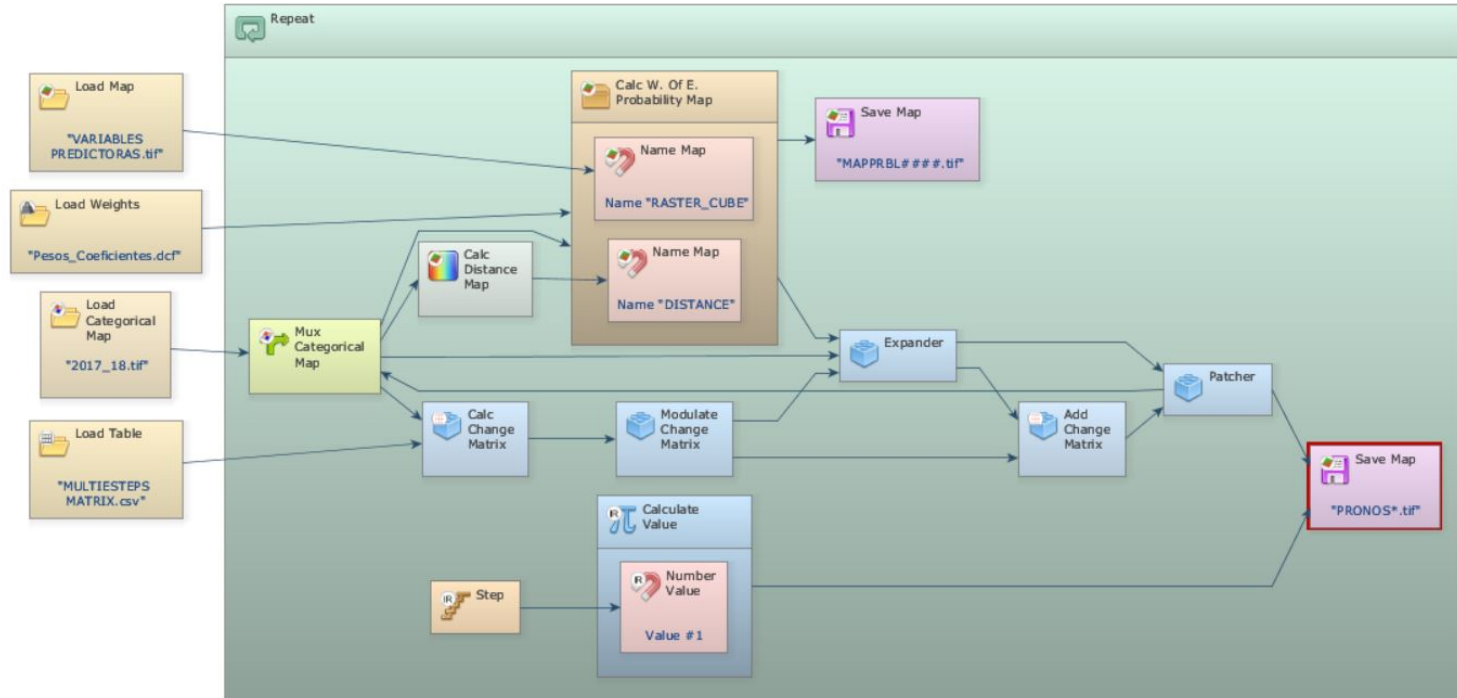


Figura 79. Modelo de predicción de escenarios futuros.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 8

8. RESULTADOS.

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos del modelamiento del crecimiento urbano en el periodo estudiado y las proyecciones futuras de los posibles nuevos asentamientos de edificaciones en el sector de estudio. En primer lugar, se especifican las tasas históricas de crecimiento obtenidas desde 2003 hasta 2018; seguidamente se presenta el nivel de influencia que ejercen cada uno de los factores (variables predictoras) en la probabilidad del crecimiento (asentamientos de construcciones). Posteriormente, se visualizan los niveles de precisión alcanzados que validan los resultados del modelo y se exponen las proyecciones geográficas del crecimiento urbano de la zona de estudio hasta el año 2050.

8.1. El crecimiento urbano de la periferia norte de la parroquia de Calderón en la ciudad de Quito entre los años 2003 y 2018.

Una parte del proceso metodológico de este trabajo se dedica al cálculo de las tasas de crecimiento en el periodo estudiado. En la Figura 80 aparece la digitalización del área de estudio en dos clases o categorías (imágenes binarias con valores 0 / 1) donde se identifican los suelos “con construcción” (valor 1) y “sin construcción” (valor 0) para 2003 y 2018, es decir, las construcciones observadas en el área de estudio. Estas imágenes permitieron calcular las tasas de crecimiento, y en la Tabla 13 se detalla numéricamente el espacio de ocupación de las edificaciones en los años correspondientes. Considerando que la imagen total consta de 3.208.288 de píxeles. se puede

evidenciar que para 2018 el área total de construcciones se triplica respecto a 2003, ocupando 203.474 píxeles mientras que en 2003 los píxeles correspondientes a construcciones son apenas 71.315. Es decir, en 2018 el área total de construcción en la zona de estudio alcanzó 3,25 km², tres veces más que en el inicio del periodo estudiado 2003, que es de 1,14 km².

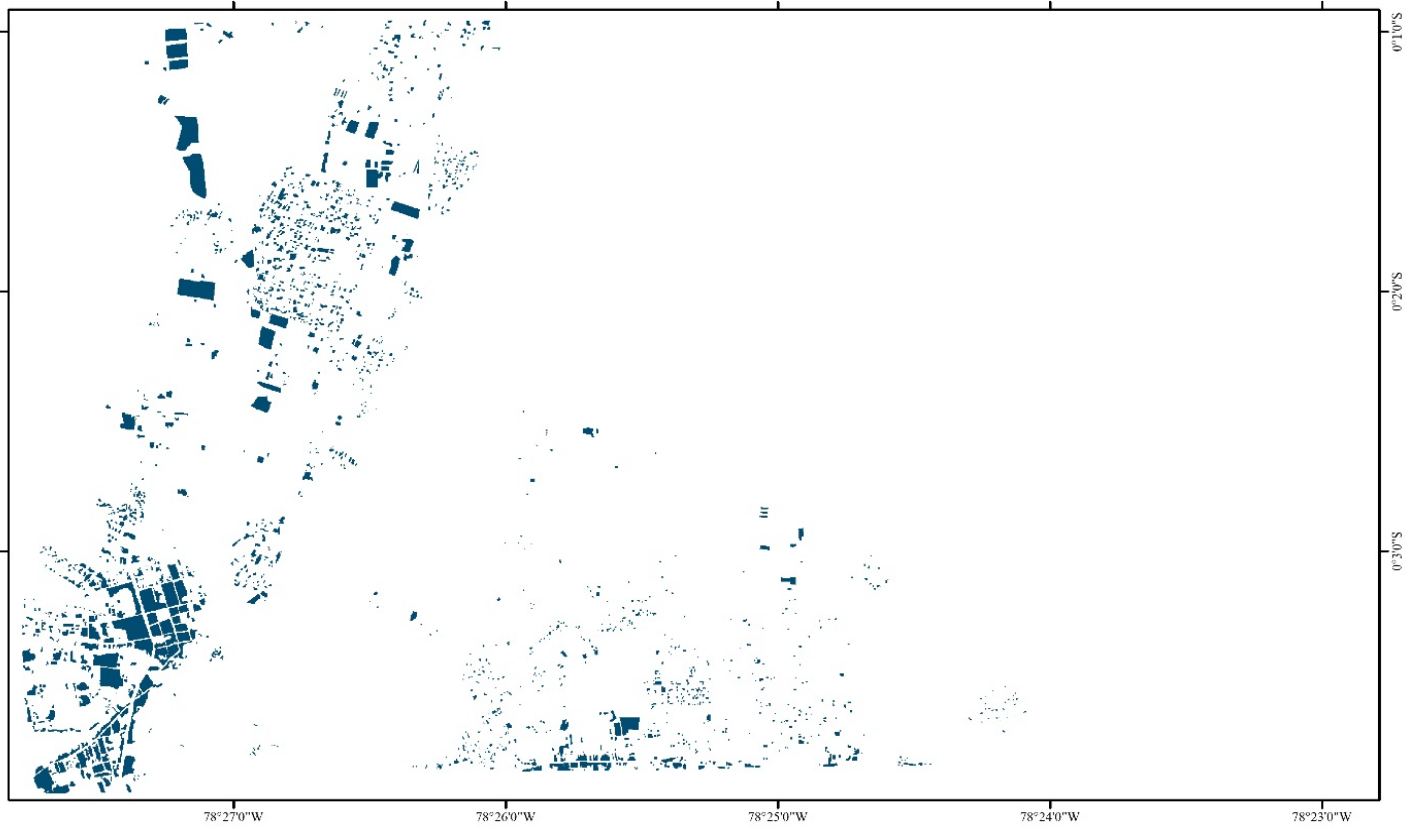
Tabla 13. Espacio ocupado por las construcciones en el área de estudio.

Año	No. píxeles sin construcción	No. píxeles con construcciones	% con construcción	Área (km²) con construcción
2003	3.136.973	71.315	2,2	1,14
2018	3.004.814	203.474	6,3	3,25



Fuente: elaboración propia.



a)



Leyenda

 Suelo con construcción  Suelo sin construcción

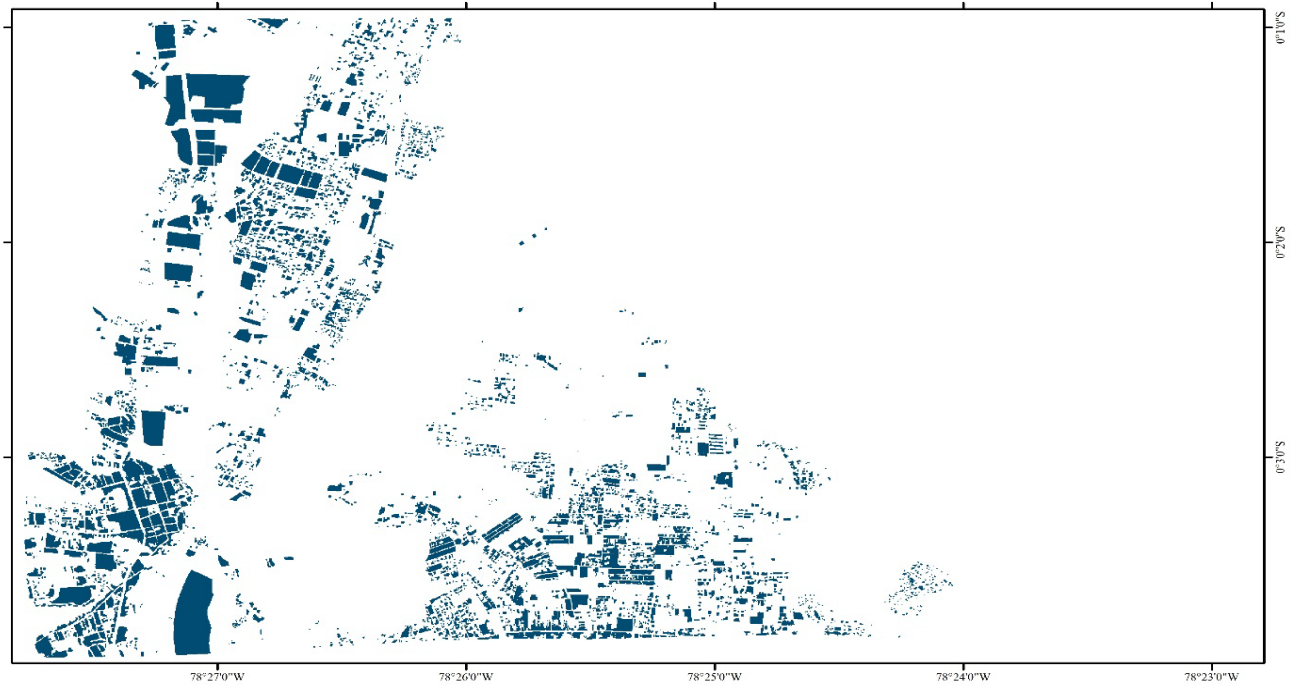
Sistema de Referencia WGS84
Fuente: Digitalización Imágenes
Google Earth año 2003

b)



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



c)



Leyenda

- d)  Suelo con construcción  Suelo sin construcción

Sistema de Referencia WGS84
Fuente: Digitalización Imágenes
Google Earth año 2018

Figura 80. Digitalización de construcciones clasificadas en dos clases a partir de imágenes.

Las imágenes a) y b) corresponden al año 2003 (imagen satelital y mapa digitalizado), las imágenes c) y d) corresponden al año 2018 (imagen satelital y mapa digitalizado).

Fuente: elaboración (digitalización) propia a partir de imágenes de Google Earth de los años correspondientes.

Los resultados indican que el 4,1% de los píxeles que en el 2003 tenían categoría de suelo sin construcción han cambiado a suelo con construcción en 2018 (tasa de transición de 15 años, Tabla 14). En la Tabla 15 aparece la tasa de transición anual que en el caso de “suelo sin construcción” a “suelo con construcción” es de 0,28%.

Tabla 14. Probabilidades de transición calculadas para todo el periodo, 15 años.

Evaluación en todo el periodo (2003 – 2018) 15 años		
Desde	A	Tasa de transición (%)
0	1	4,120
1	0	0,060

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Tasa de transición anual.

Desde	A	Tasa de transición (%)
0	1	0,280
1	0	0,004

Fuente: elaboración propia.

8.2. Factores determinantes en la probabilidad de crecimiento urbano.

En este apartado se exponen los resultados de los factores explicativos procesados (variables predictoras) que tienen influencia en el proceso de crecimiento urbano en la zona de estudio.

8.2.1. Construcción de las capas de las variables predictoras.

Tomando como base la Tabla 9 Tabla 9 que especifica las variables predictoras escogidas para la calibración del modelo, y con el objetivo de determinar las

probabilidades de crecimiento en las diferentes zonas del área de estudio a través de la metodología de pesos de evidencia y mapas de probabilidad, a continuación, se presentan los resultados de las coberturas geográficas procesadas previamente correspondientes a las variables predictoras que ingresan en el modelo, basados en los procedimientos detallados en el capítulo 7.

En primer lugar, desde la Figura 81 hasta la Figura 92, se presentan las coberturas rasterizadas de cada uno de los procesos geográficos aplicados sobre las variables, utilizando las herramientas de distancia euclidiana, reclasificación y pendientes “slope”, tal y como se detalla en la Figura 64 y Figura 65. Del conjunto de variables que forman parte del modelo, el número nueve (9) “Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes”, se genera de forma automática, es decir, está implícita en el modelo, de modo que no aparece su representación.

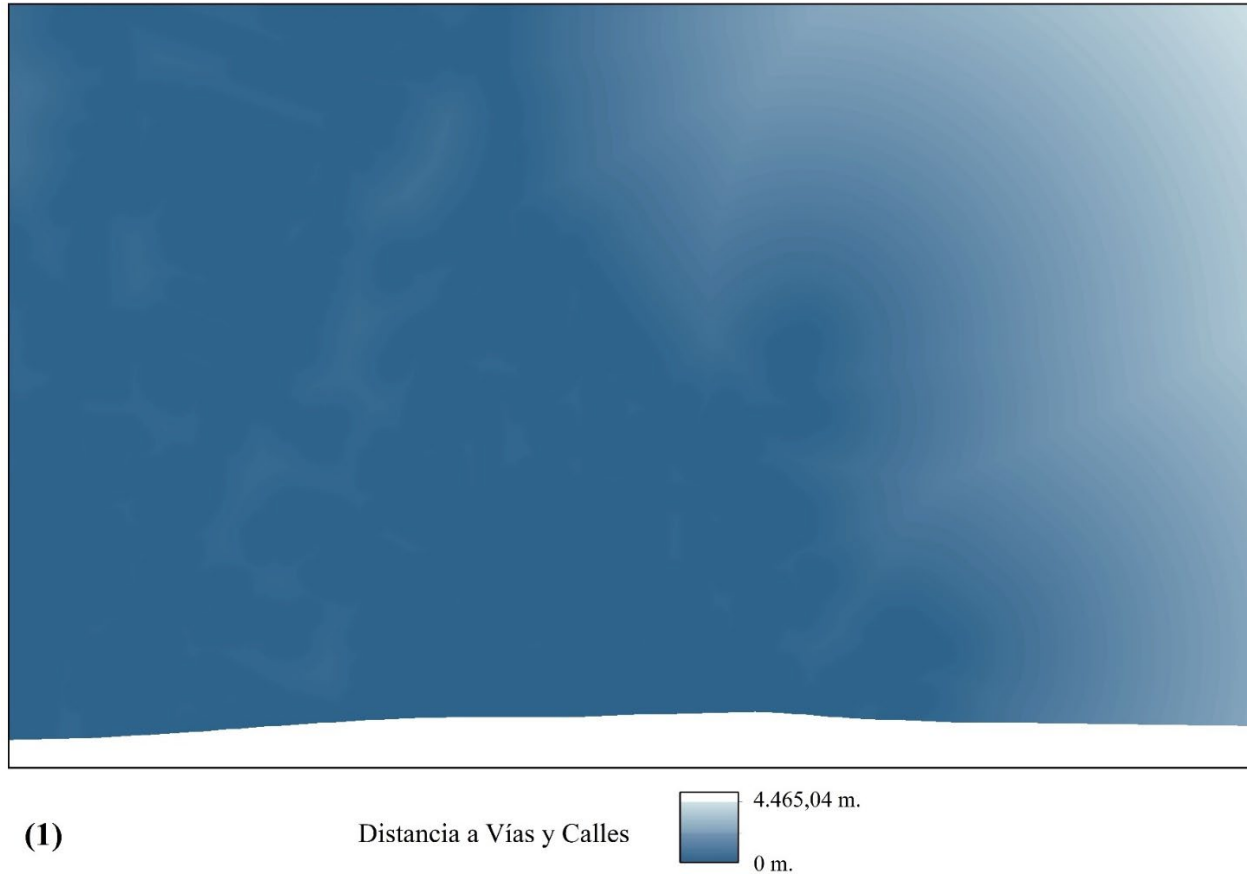


Figura 81. Variable predictora Distancia a Vías y Calles geoprocesada con distancia euclidiana.

Fuente: elaboración propia.

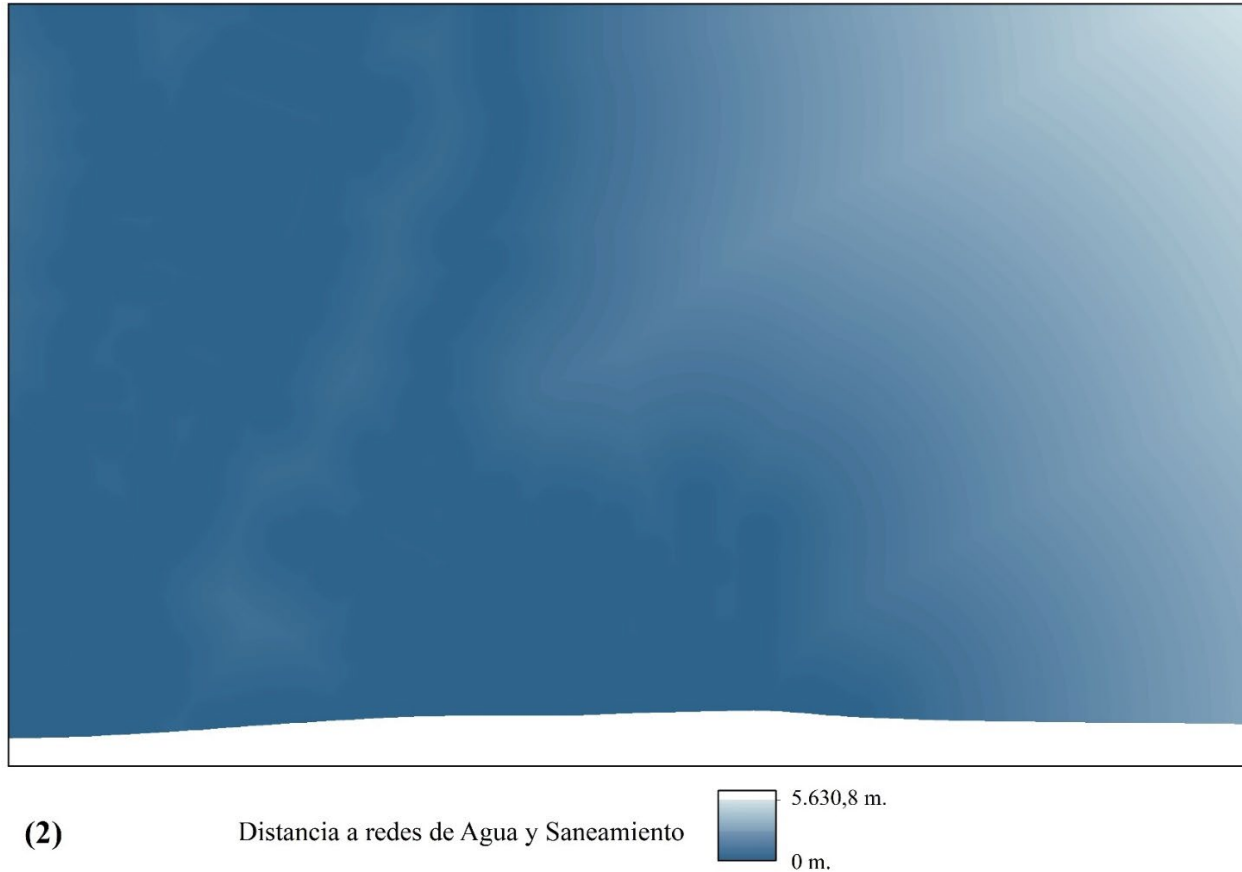


Figura 82. Variable predictora Distancia a redes de Agua y Saneamiento geoprocesada con distancia euclidiana.

Fuente: elaboración propia.

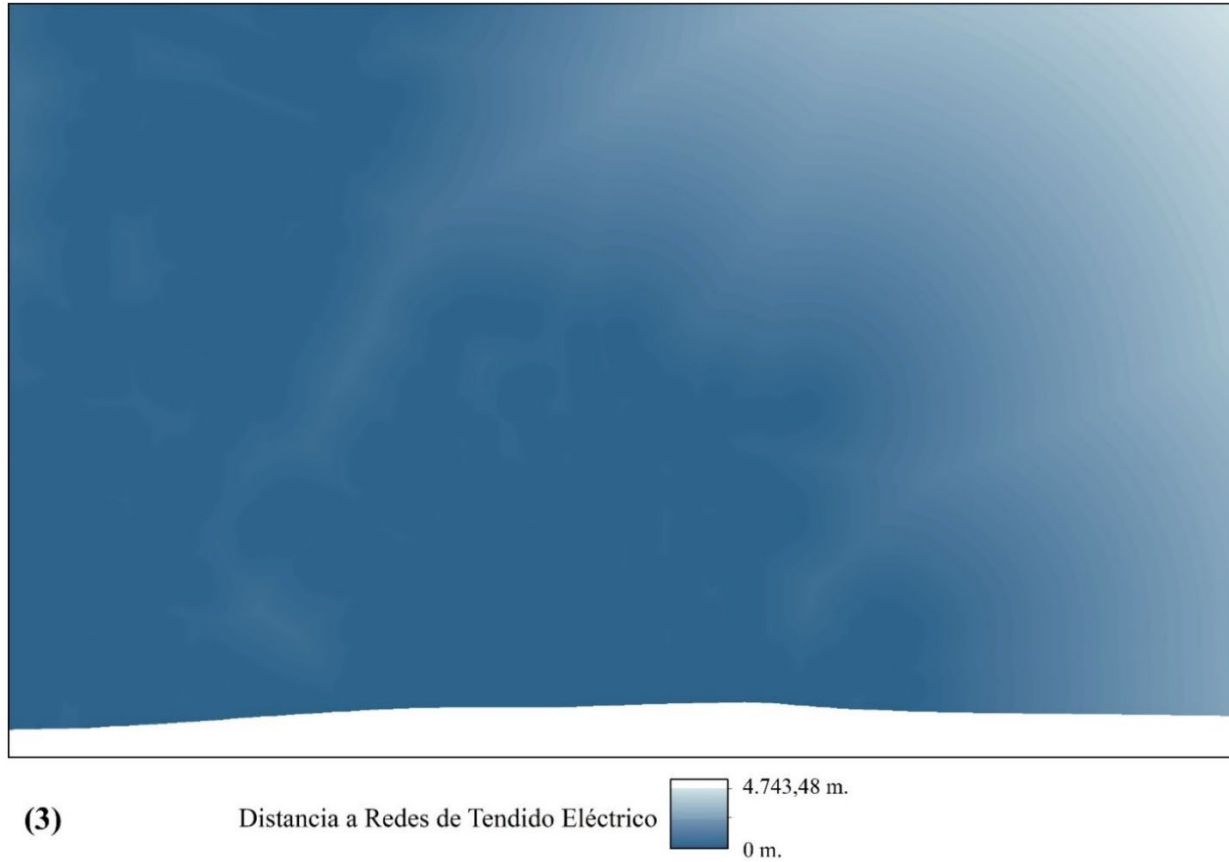


Figura 83. Variable predictora Distancia a Redes de Tendido Eléctrico geoprocesada con distancia euclidiana.

Fuente: elaboración propia.

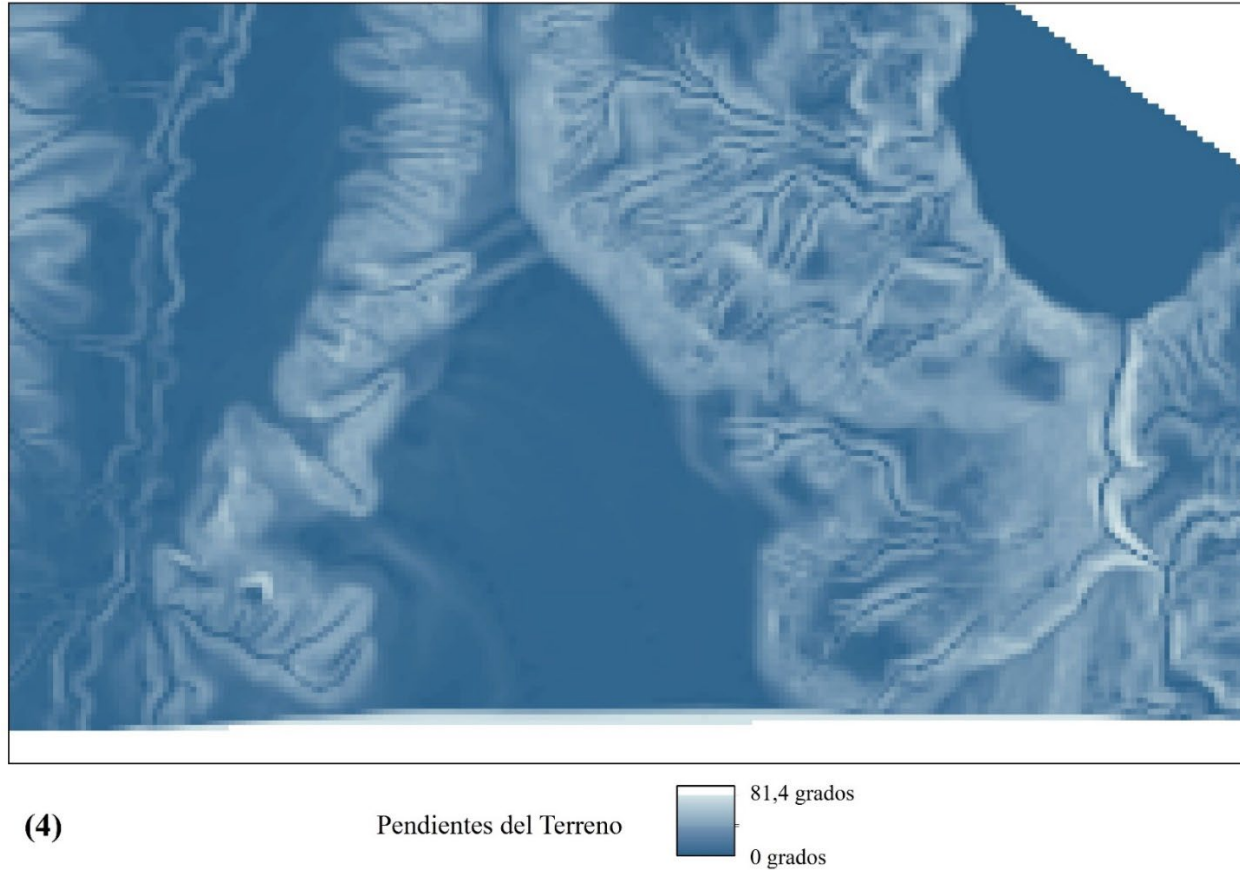


Figura 84. Variable predictora Pendiente del Terreno geoprocesada con *slope* (pendientes).

Fuente: elaboración propia.

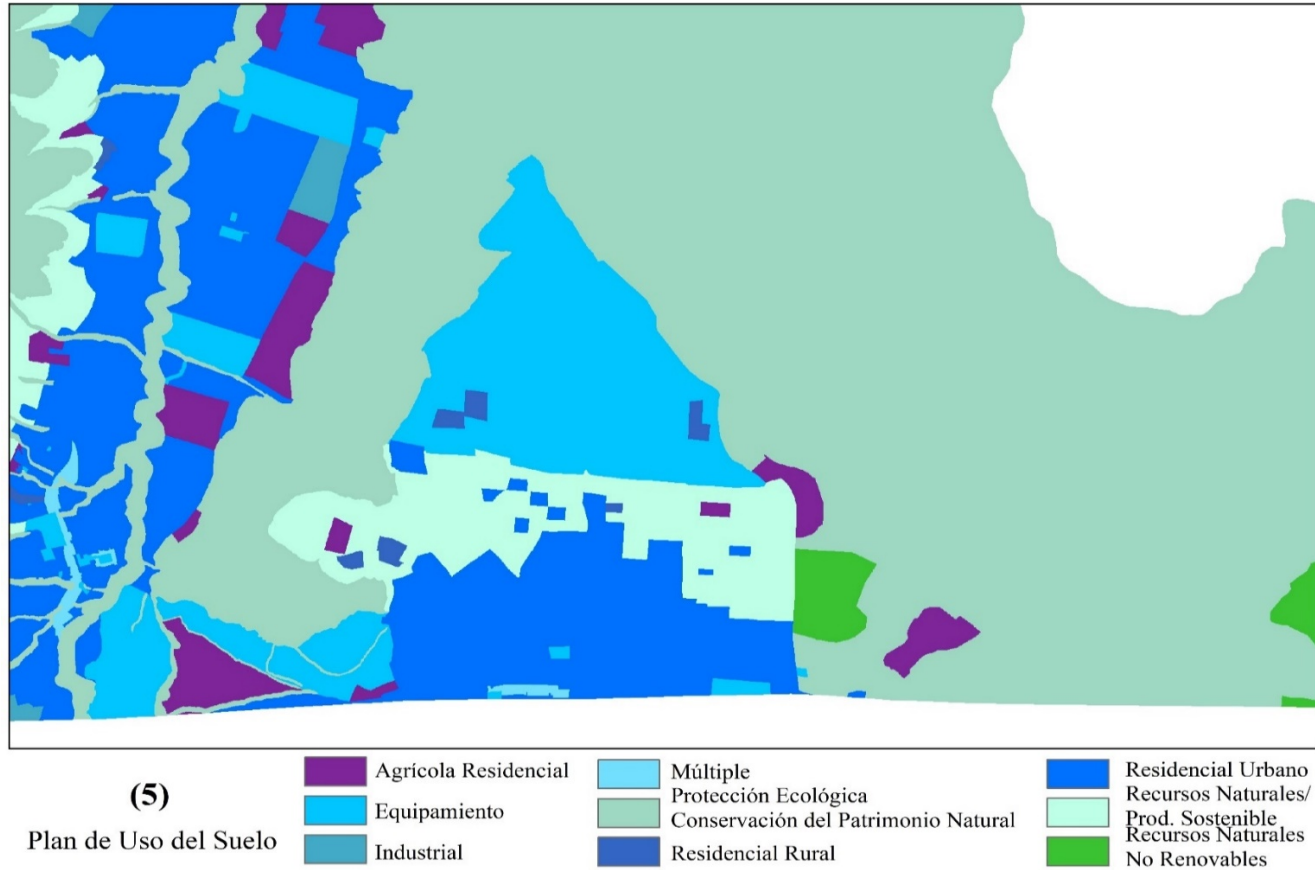


Figura 85. Variable predictora Plan de Uso del Suelo reclasificada.

Fuente: elaboración propia.

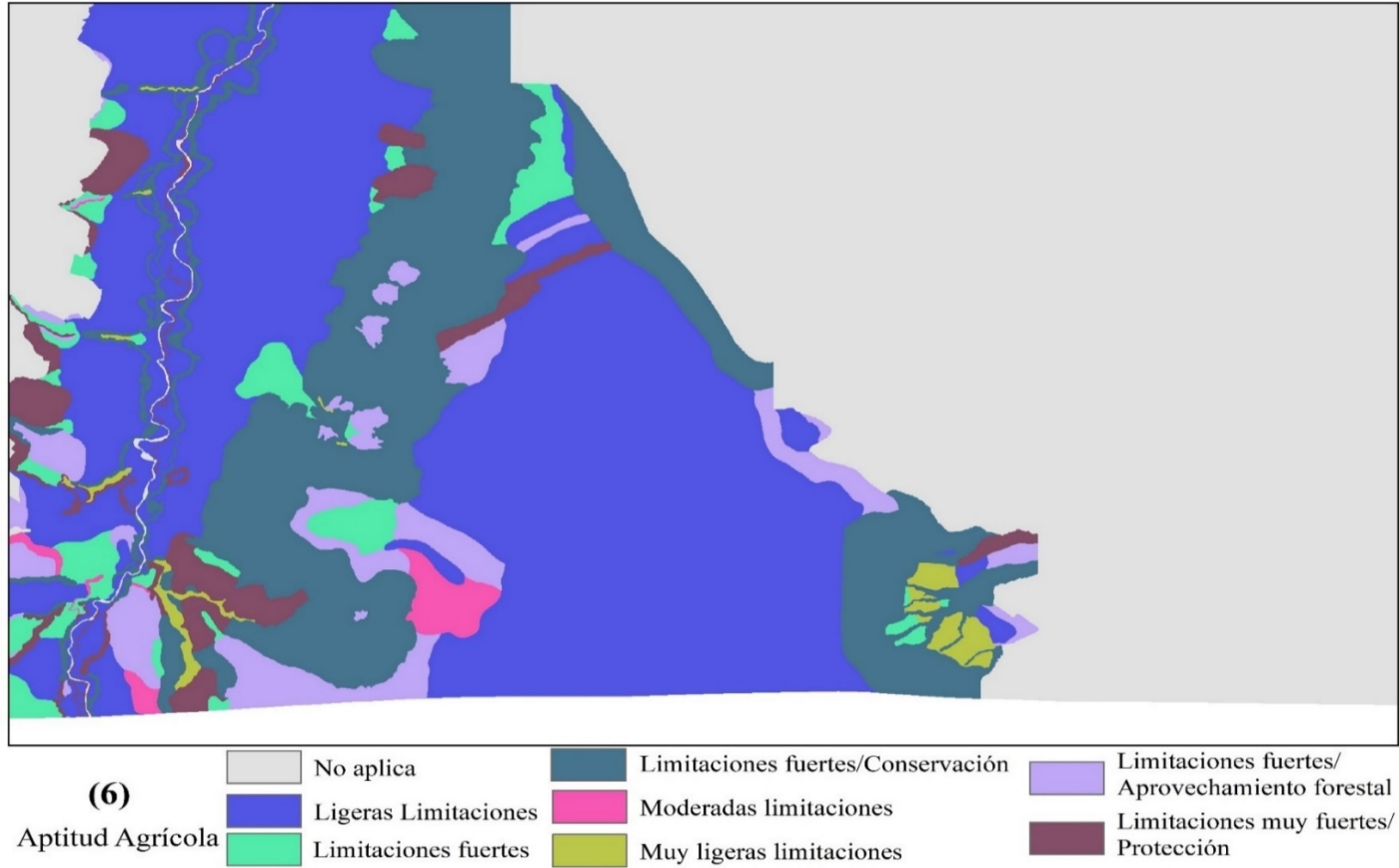


Figura 86. Variable predictora Aptitud Agrícola reclasificada.

Fuente: elaboración propia.



(7)

Distancia a Instituciones de Educación

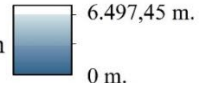


Figura 87. Variable predictora Distancia a Instituciones de Educación geoprocesada con distancia euclidiana.

Fuente: elaboración propia.



(8)

Distancia a Instituciones de Salud

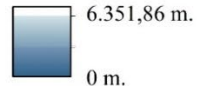


Figura 88. Variable predictora Distancia a Instituciones de Salud geoprocesada con distancia euclidiana.

Fuente: elaboración propia.

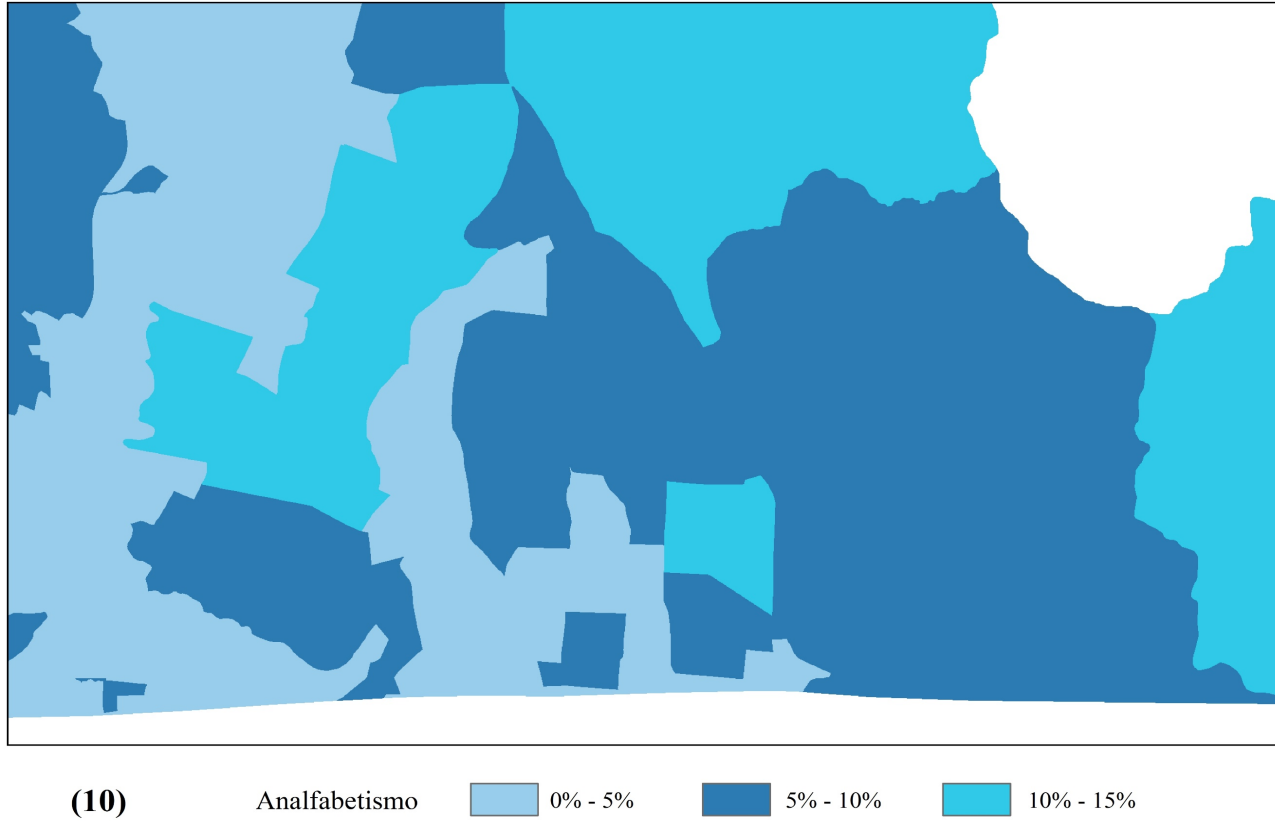


Figura 89. Variable predictora Analfabetismo reclasificada.

Fuente: elaboración propia.

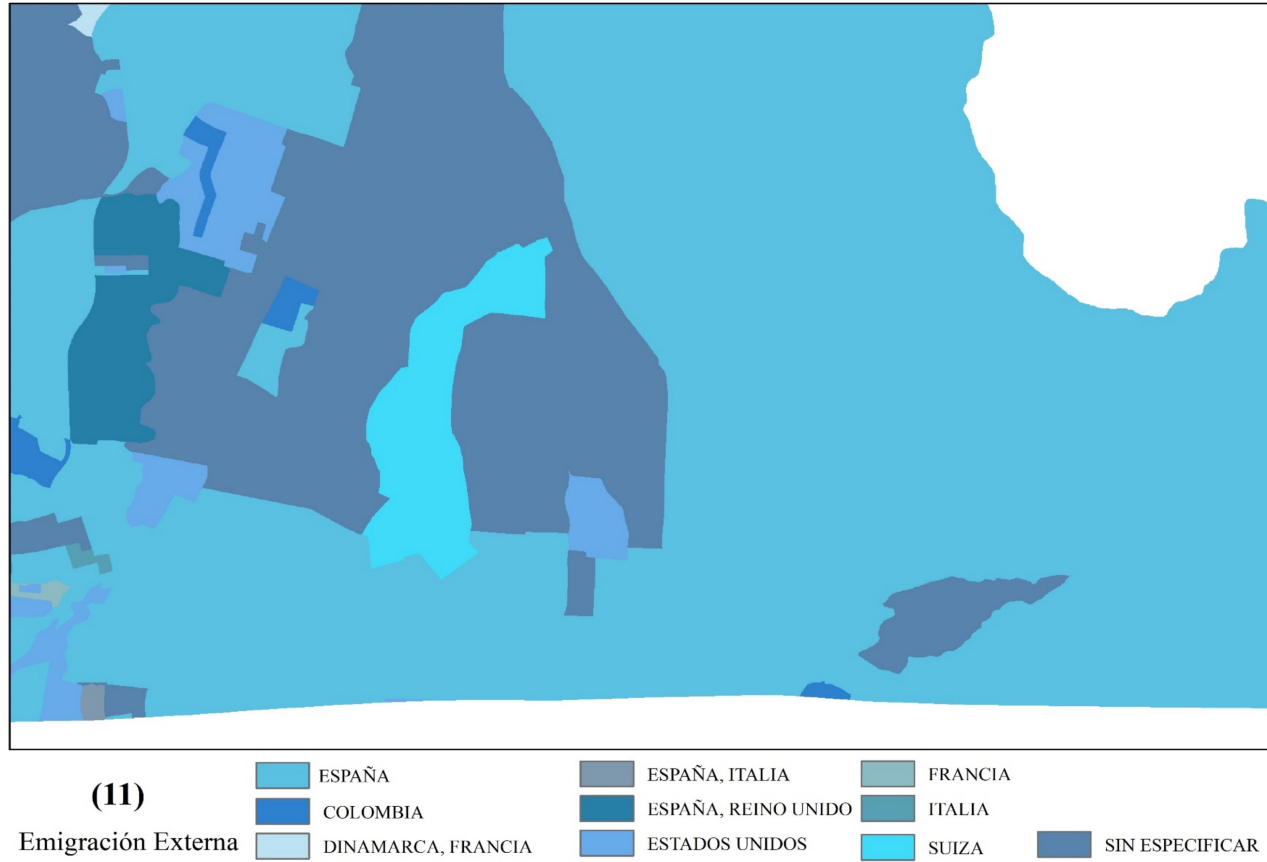


Figura 90. Variable predictora Emigración Externa.

Fuente: elaboración propia.

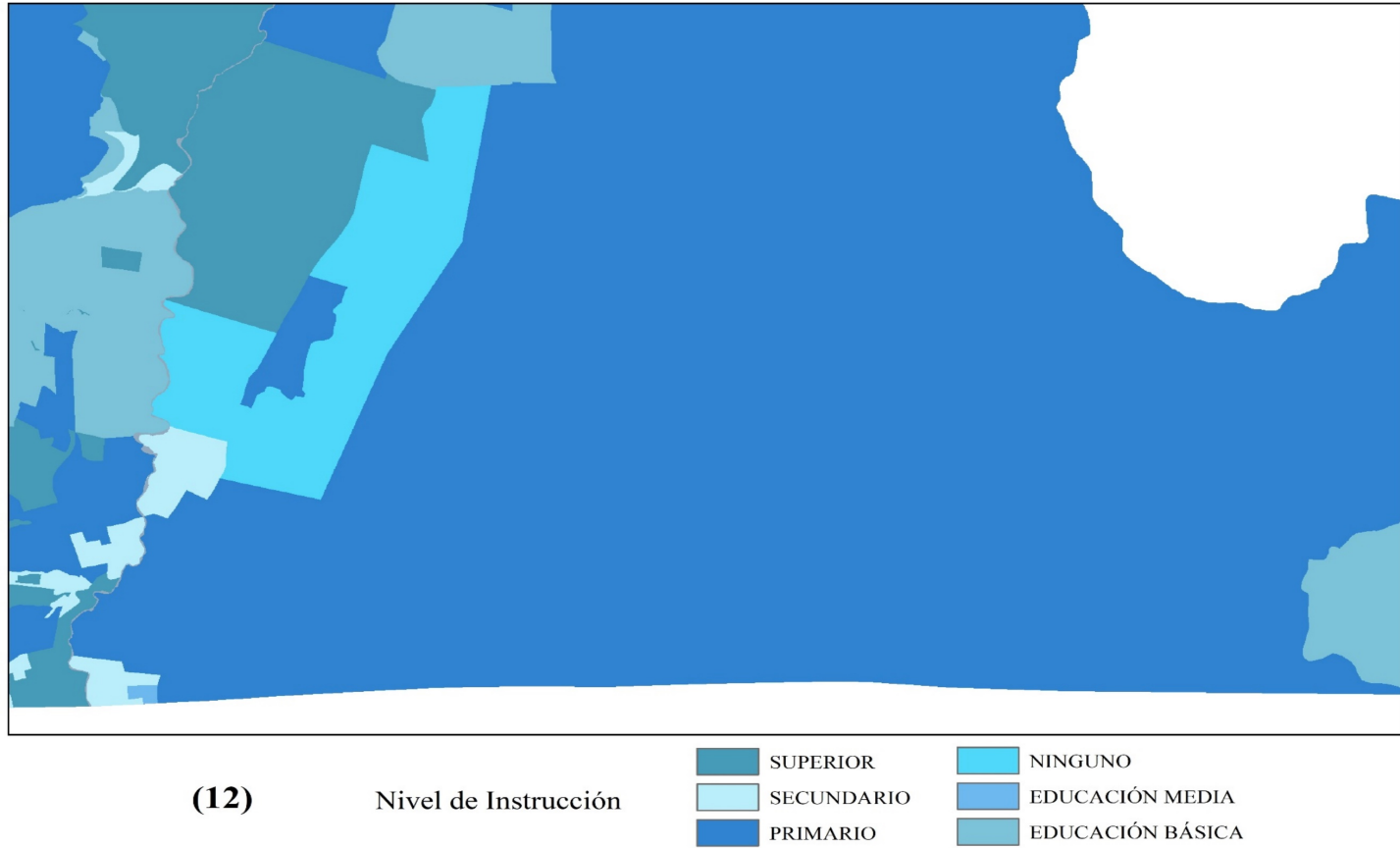


Figura 91. Variable predictora Nivel de Instrucción.

Fuente: elaboración propia.



(13)

Intención de edificación

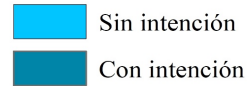


Figura 92. Variable predictora Intención de edificación construida.

Fuente: elaboración propia.

8.2.2. Resultados generales de las encuestas dirigidas a los habitantes del sector.

Derivado de la encuesta dirigida a los moradores de la parroquia, se logró correlacionar los patrones de crecimiento y ocupación del suelo con construcciones en la zona de estudio (periferia), con el comportamiento del crecimiento y condiciones del hábitat ya experimentadas en la parroquia (centros consolidados).

La encuesta fue respondida en su mayoría por personas de edad entre 30 y 50 años; el 30% de los encuestados han nacido en otro lugar que no es Quito, de los cuales el 2% son extranjeros; el 64% de los encuestados laboran en relación de dependencia (que tienen empleador o que trabajan por cuenta ajena), y un 17% se encuentra desempleado; el 60% son habitantes relativamente nuevos en la parroquia de Calderón, pues residen en esta parroquia desde hace menos de 10 años. Un dato interesante que revela la encuesta es que la preferencia predominante entre los encuestados para elegir vivir en la parroquia es el clima, la naturaleza y los precios del suelo asequibles. Por último, también es interesante observar que los encuestados han llegado a esta parroquia a través de conocidos, familiares cercanos o han recibido una herencia.

En relación a los inmuebles, el 89% de los encuestados registran que cuentan con algún tipo de construcción en su propiedad (predio); también indican que en el 60% de los casos cuentan con planos de construcción aprobados por el Municipio de Quito, sin embargo, este último dato no representa la realidad de la parroquia. Parece que aquellos que cuentan con una propiedad formalizada han participado en mayor número en la encuesta.

A continuación, se muestran los resultados más destacados obtenidos a partir de la encuesta realizada:

- Los barrios cercanos al área de estudio en gran parte han sido habitados de forma reciente, con una antigüedad de hasta 10 años. Este hecho confirma que la ocupación y edificación se desarrolla de forma acelerada, incluso en los centros consolidados lo que es extrapolable a las periferias (Figura 93).

¿Desde cuando vive en Calderón?

42 respuestas

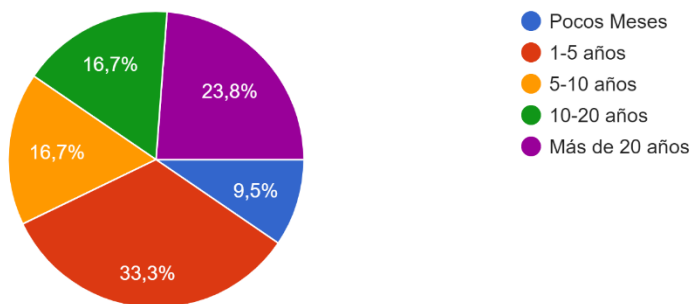


Figura 93. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.

Fuente: formulario de respuestas,

https://docs.google.com/forms/d/1gj_J3eAX8IOzYgviLIFvNBID6zrm54RwIWNC-PlpJeU/edit?usp=sharing.

- El precio comercial del suelo en la parroquia se considera relativamente adecuado según la relación espacio ofertado y precio, por lo tanto, mediante las entrevistas y la encuesta se verifica que los terrenos han sido adquiridos por los mismos habitantes y que ellos mismos han sido los que han realizado la edificación (Figura 94). Además, también tienen la intención de ampliar la construcción existente en sus propiedades, confirmando que las proyecciones generadas en este

trabajo son coherentes con la densificación de edificaciones prevista por los propios habitantes (Figura 95).

La propiedad donde vive es:

42 respuestas

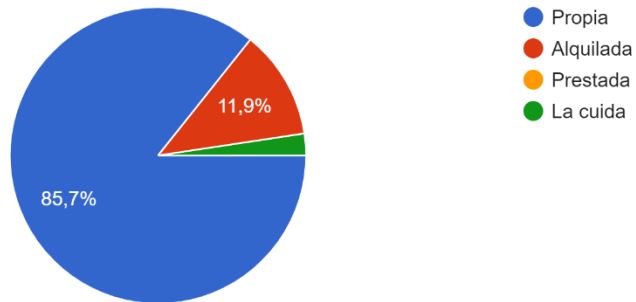


Figura 94. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.

Fuente: formulario de respuestas,

https://docs.google.com/forms/d/1gj_J3eAX8IOzYgviLIFvNBID6zrm54RwIWNC-PlpJeU/edit?usp=sharing.

¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?

42 respuestas

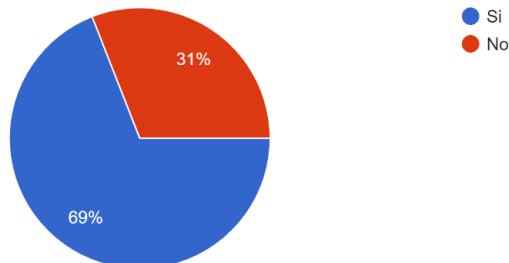


Figura 95. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.

Fuente: formulario de respuestas,

https://docs.google.com/forms/d/1gj_J3eAX8IOzYgviLIFvNBID6zrm54RwIWNC-PlpJeU/edit?usp=sharing.

- Resalta también una comercialización invasiva de edificaciones y terrenos en la parroquia y sus periferias; los habitantes tratan de lucrarse

subdividiendo por cuenta propia sus propiedades para el alquiler o la venta (Figura 96).



Figura 96. Resultado de la encuesta realizada a los habitantes de la parroquia.

Fuente: formulario de respuestas,

https://docs.google.com/forms/d/1gj_J3eAX8IOzYgviLIFvNBID6zrm54RwIWNC-PlpJeU/edit?usp=sharing.

8.2.3. Cálculo de los pesos de evidencia.

En la segunda fase, se calculan los pesos de evidencia de cada una de las variables categóricas y variables cuantitativas, en cada uno de los rangos construidos (Tabla 16) de modo que se obtiene información de cuánto influye cada variable en la expansión urbana de cada momento.

La Tabla 16 muestra en la primera y segunda columna la transición, es decir, cambio de estado desde el valor 0 (“Desde”, sin construcción) a valor 1 (“A”, con construcción); en la tercera columna se detalla la variable predictora. En la cuarta y quinta columna “rango inferior” y “rango superior” (o “clase” para las variables categóricas) se especifica, en el caso de las variables no categóricas, los rangos o intervalos de distancia (distancia euclidiana) o rangos de inclinación de pendiente (“*slope*”), en el caso de las variables categóricas se muestra cada clase definida dentro de la variable.

En la columna “No. de celdas”, se detalla el número total de celdas o píxeles incluidos en ese rango o categoría (las posibles transiciones); la columna “Transiciones producidas” representa el número de celdas o píxeles que efectivamente han cambiado (píxeles con construcción). La columna de “Coeficiente peso de evidencia” muestra el valor calculado del peso de la evidencia, los valores positivos en este campo favorecen a la transición mientras que los valores negativos repelen la transición. La columna “Contraste”, muestra el grado de asociación o repulsión de la variable sobre la transición, cuanto mayores son los valores negativos, mayor es el efecto de repulsión y viceversa, los valores muy cercanos a cero (entre -0,1 y 0,1) o iguales cero en “Contraste” y en “Coeficiente peso de evidencia” indican que estos no tienen ningún efecto sobre la transición. Por último, la columna “Significancia” almacena los valores del test de significancia estadística, los valores con 1 son los rangos o categorías que serán tomados en cuenta para los análisis posteriores, los rangos o categorías con cero no tienen significancia.

En un ejemplo sobre la variable “Vías y Calles”, en el primer rango, 0 – 100, tiene una relación positiva en el campo “Coeficiente peso de evidencia”, favoreciendo a la transición, es decir, favoreciendo a la construcción (Contraste alto = 2,996); en el rango, 100 – 300, indican que en ese rango repele la construcción (Contraste bajo entre = -0,442 y -1,181). Los rangos entre 300 y 4.500 metros) indican que estos no tienen ningún efecto sobre la construcción. Los valores de significancia de los tres primeros rangos son “1”, lo que implica que serán tomados en cuenta para los análisis en las siguientes etapas. Caso similar sucede con las variables “Instituciones de salud” e “Instituciones de educación”. Los valores obtenidos tienen mucho sentido ya que las construcciones proliferan en el alrededor inmediato de las vías o calles. En otro ejemplo, con la variable “Plan de usos del suelo”, en

la categoría “Protección Ecológica”, la relación es negativa ya que en esta categoría se repele la construcción por las restricciones ambientales, mientras que en la categoría “Residencial Urbano” la relación es positiva y el grado de asociación es alto.

En el caso de la pendiente del terreno, como es de esperar, la relación es positiva en las zonas planas con pendientes de hasta 15 grados (Contraste alto = 3,034), sin embargo, las pendientes mayores a 15 grados con valores negativos, también son consideradas en el modelo (Significancia = 1) como repelentes a la construcción.

En el caso de las variables categóricas como los Uso del Suelo, las clases que sufren más transiciones son los usos residenciales urbanos y rurales e industrial. Cabe recalcar que todas las evidencias calculadas son tomadas en cuenta para la calibración del modelo.

En las variables que tienen que ver con el nivel de educación y analfabetismo resalta la tendencia de asociación positiva fuerte con las categorías en donde el nivel de educación ha superado la primaria y el nivel de analfabetismo es menor al 5%. Es decir, un mayor nivel de instrucción y menores tasas de analfabetismo favorecen la expansión de la construcción. Esta situación se podría atribuir a las posibilidades económicas que pueden alcanzarse con niveles de educación más altos.

También destaca en la variable “Aptitud de la agricultura”, que todas las categorías con aptitudes para la agricultura son asociadas positivamente con la construcción. Es decir, una zona apta para la agricultura, también lo es para la construcción.

Tabla 16. Coeficientes de los pesos de evidencia de las variables predictoras

Desde	A	Variable	Rango inferior	Rango superior	No; de celdas	Transiciones producidas	Coeficiente peso de evidencia	Contraste	Significancia
0	1	Vías y calles	0	100	1.188.562	118.568	0,946	2,996	1
			101	200	307.286	8.568	-0,406	-0,442	1
			201	300	159.372	2.154	-1,144	-1,181	1
			301	400	93.164	0	0,000	0,000	0
			401	1.400	529.909	0	0,000	0,000	0
			1401	2.600	523.337	0	0,000	0,000	0
			2601	4.500	332.42	0	0,000	0,000	0
0	1	Agua y saneamiento	0	100	788.767	109.766	1,324	2,958	1
			101	200	264.533	9.968	-0,094	-0,103	1
			201	300	178.39	4.253	-0,566	-0,593	1
			301	400	148.974	2.394	-0,969	-1,000	1
			401	700	245.393	2.508	-1,427	-1,492	1
			701	800	64.52	86	-3,473	-3,494	1
			801	1.900	508.03	315	-4,239	-4,422	1
			1901	3.200	519.765	0	0,000	0,000	0
3.201	5.700	415.678	0	0,000	0,000	0			
0	1	Pendiente del terreno	0	15	1.343.745	120.919	0,777	3,034	1
			16	30	919.683	6.293	-1,887	-2,227	1
			31	45	653.65	1.234	-3,180	-3,432	1
			46	90	39.069	109	-2,788	-2,801	1

Desde	A	Variable	Rango inferior	Rango superior	No; de celdas	Transiciones producidas	Coficiente peso de evidencia	Contraste	Significancia
			Protección Ecológica		1.741.184	4.034	-3,037	-4,056	1
			Recursos Naturales No Renovables		46.776	23	-4,589	-4,606	1
			Residencial Urbano 1		310.027	56.544	1,528	2,003	1
			Equipamiento Residencial Urbano 2		256.097	15.978	0,318	0,356	1
			Residencial Urbano 2		101.42	26.793	2,004	2,208	1
0	1	Plan de usos del suelo	Agrícola Residencial		93.501	7.683	0,615	0,644	1
			Producción Sostenible		192.732	6.639	-0,305	-0,324	1
			Industrial 2		2.005	474	1,856	1,859	1
			Residencial Urbano 3		28.767	6.359	1,769	1,811	1
			Múltiple		5.136	948	1,543	1,548	1
			Industrial 3		11.702	1.008	0,667	0,670	1
			Residencial Rural 1		11.335	2.807	1,917	1,936	1
0	1		No aplica		1.725.741	838	-4,484	-5,331	1

Desde	A	Variable	Rango inferior	Rango superior	No; de celdas	Transiciones producidas	Coficiente peso de evidencia	Contraste	Significancia
			Ligeras limitaciones		725.005	94.988	1,254	2,345	1
			Limitaciones muy fuertes-conservación		405.291	3.992	-1,465	-1,577	1
			Tierras de protección-limitaciones muy fuertes		72.431	2.649	-0,125	-0,128	1
		Aptitud de la agricultura	Muy ligeras limitaciones		16.885	874	0,238	0,239	1
			Limitaciones fuertes a muy fuertes		66.106	6.554	0,939	0,971	1
			Tierras aptas para aprovechamiento forestal-limitaciones muy fuertes		104.457	13.772	1,261	1,343	1
			Moderadas limitaciones		18.119	5.623	2,347	2,388	1
0	1		0	300	180.945	33.883	1,678	1,932	1

Desde	A	Variable	Rango inferior	Rango superior	No; de celdas	Transiciones producidas	Coficiente peso de evidencia	Contraste	Significancia
		Instituciones de educación	301	600	364.019	41.288	1,090	1,361	1
			601	900	363.834	29.625	0,723	0,865	1
			901	1	304.67	15.24	0,202	0,226	1
			1201	2	217.515	6.644	-0,312	-0,332	1
			1501	2	163.884	1.935	-1,281	-1,322	1
			1801	2	149.917	330	-2,971	-3,019	1
			2101	3	572.338	345	-4,267	-4,476	1
			3301	5	511.219	0	0,000	0,000	0
			4501	7	305.71	0	0,000	0,000	0
			0	300	23.536	3.127	1,273	1,290	1
			301	1.500	527.862	64.424	1,175	1,703	1
			1.501	2.100	399.358	30.609	0,660	0,800	1
			2.101	2.400	250.621	14.919	0,388	0,430	1
0	1	Instituciones de salud	2.401	2.700	279.558	9.712	-0,176	-0,192	1
			2.701	3.000	261.096	4.864	-0,816	-0,867	1
			3.001	3.300	216.714	779	-2,476	-2,545	1
			3.301	4.200	544.625	25	-6,841	-7,041	1
			4.201	5.700	533.161	0	0,000	0,000	0
			5.701	6.600	84.931	0	0,000	0,000	0
				0	20	171.158	36.122	1,827	2,109
0	1	Probabilidad por Distancia	21	60	309.368	42.207	1,301	1,603	1

Desde	A	Variable	Rango inferior	Rango superior	No; de celdas	Transiciones producidas	Coficiente peso de evidencia	Contraste	Significancia
		a	61	80	106.486	10.244	0,906	0,956	1
		Asentamiento	81	100	88.286	6.482	0,611	0,634	1
		Existentes	101	280	472.069	28.061	0,384	0,469	1
			281	300	35.422	1.273	-0,143	-0,145	1
			301	340	67.232	1.947	-0,367	-0,373	1
			341	360	32.108	520	-0,961	-0,967	1
			361	520	202.862	2.248	-1,345	-1,397	1
			521	540	19.284	3	-5,622	-5,629	1
			541	1.400	503.976	183	-4,775	-4,957	1
			1.401	2.500	502.412	0	0,000	0,000	0
			2.501	4.100	502.719	0	0,000	0,000	0
			4.101	5.420	120.677	0	0,000	0,000	0
			0 – 5 %		654.231	93.165	1,233	2,272	1
0	1	Analfabetismo	5;1 – 10 %		1.251.246	31.221	-0,637	-0,971	1
			10;1 – 15 %		894.941	4.904	-2,173	-2,540	1
			España		1.892.355	81.784	-0,069	-0,200	1
			Colombia		21.014	3.854	1,535	1,559	1
0	1	Emigración	Estados unidos		71.47	11.998	1,428	1,503	1
			Sin información		668.542	23.072	-0,303	-0,383	1

Desde	A	Variable	Rango inferior	Rango superior	No; de celdas	Transiciones producidas	Coficiente peso de evidencia	Contraste	Significancia
			Suiza		77.263	2.664	-0,304	-0,311	1
			España. Reino Unido		58.029	4.842	0,632	0,650	1
			Italia		550	50	0,726	0,726	1
			España. Italia		3.333	8	-3,001	-3,003	1
			Dinamarca. Francia		4.3	386	0,712	0,713	1
			Francia		4.237	632	1,287	1,291	1
			Secundario		38.445	5.245	1,183	1,212	1
			Primario		2.150.760	78.369	-0,247	-0,810	1
			Superior		216.018	36.342	1,430	1,690	1
0	1	Nivel Instrucción	Educación básica		248.572	6.094	-0,655	-0,702	1
			Ninguno		140.878	2.012	-1,206	-1,244	1
			Educación media		1.214	1.214	0,000	0,000	0
			No aplica		4.531	14	-2,748	-2,750	1
0	1	Intención	Sin intención		935.624	1.243	-3,754	-4,378	1
			Con intención		1.165.717	711	0,624	4,378	1

Fuente: elaboración propia.

8.2.4. Análisis de correlaciones de las variables.

En la tercera fase del proceso metodológico se realiza el análisis de correlación de las variables. La Tabla 17 recoge el índice de Cramer calculado a partir de cada relación pareada de las variables físicas (comparación de las variables de dos en dos), correspondientes al primer momento (variables físicas), según la metodología descrita en el capítulo de metodología.

Tabla 17. Correlación pareada de variables, Índice de Cramer.

Primera Variable	Segunda Variable	Índice de Cramer
Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes	Agua y Saneamiento	0,5342
	Instituciones de Educación	0,4704
Agua y Saneamiento	Instituciones de Salud	0,3721
	Pendiente Terreno	0,3421
	Plan de Uso del Suelo	0,2701
	Tendido Eléctrico	0,6441
	Vías y Calles	0,5518
	Instituciones de Educación	0,4702
Instituciones de Educación	Instituciones de Salud	0,4113
	Pendiente Terreno	0,3243
	Plan de Uso del Suelo	0,2900
	Tendido Eléctrico	0,5414
	Vías y Calles	0,5938
	Instituciones de Salud	0,3819
Instituciones de Salud	Pendiente Terreno	0,2721
	Plan de Uso del Suelo	0,2972
	Tendido Eléctrico	0,4843
	Vías y Calles	0,5150
Plan de Uso del Suelo	Pendiente Terreno	0,2509
	Plan de Uso del Suelo	0,2767
	Tendido Eléctrico	0,3830

	Vías y Calles	0,3944
Pendiente Terreno	Plan de Uso del Suelo	0,3921
	Tendido Eléctrico	0,3438
	Vías y Calles	0,3145
Plan de Uso del Suelo	Tendido Eléctrico	0,3344
	Vías y Calles	0,2995
Tendido Eléctrico	Vías y Calles	0,6713

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar (Tabla 17) que las variables de “Tendido Eléctrico” y “Vías y Calles” cuando se correlacionan con las demás variables y entre sí, presentan los valores más altos de las relaciones pareadas: mayores o iguales a 0,6. Dado que se considera que los valores del índice de Cramer mayores a 0,5 representan altas correlaciones y que deben de ser excluidas o combinadas, se ha optado, en este caso, por combinar las variables mencionadas con el fin de conseguir una variable que represente de mejor manera los factores considerados. Una de las características del tendido eléctrico de baja tensión es que su instalación se realiza a partir de las vías y calles existentes, legales o no, incluso en caminos o senderos no transitables con vehículos motorizados, por lo tanto, el valor de su correlación es lógico, prácticamente el tendido eléctrico esta embebido en las vías y calles.

Tal y como se ha mencionado, en este trabajo se han combinado las variables que se encuentran altamente correlacionadas. En la Tabla 18 se exponen los resultados derivados de las nuevas correlaciones una vez combinadas las mencionadas variables en una nueva denominada “Vías y tendido eléctrico”.

Tabla 18. Correlación pareada de variables con la capa combinada de "Tendido Eléctrico" y "Calles y Vías" (nueva capa "Vías y tendido eléctrico", Índice de Cramer.

Primera Variable	Segunda Variable	Índice de Cramer
Probabilidad por Distancia a	Agua y Saneamiento	0,5342
Asentamiento Existentes	Instituciones de Educación	0,4704
	Instituciones de Salud	0,3721
	Pendiente Terreno	0,3421
	Plan de Uso del Suelo	0,2701
	Vías y tendido eléctrico	0,5518
Agua y Saneamiento	Instituciones de Educación	0,4702
	Instituciones de Salud	0,4113
	Pendiente Terreno	0,3243
	Plan de Uso del Suelo	0,2900
	Vías y tendido eléctrico	0,5938
Instituciones de Educación	Instituciones de Salud	0,3819
	Pendiente Terreno	0,2721
	Plan de Uso del Suelo	0,2972
	Vías y tendido eléctrico	0,5150
Instituciones de Salud	Pendiente Terreno	0,2509
	Plan de Uso del Suelo	0,2767
	Vías y tendido eléctrico	0,3944
Pendiente Terreno	Plan de Uso del Suelo	0,3921
	Vías y tendido eléctrico	0,3145
Plan de Uso del Suelo	Vías y tendido eléctrico	0,2995

Fuente: elaboración propia.

Para el segundo momento (variables físicas y sociales), que incluye la variable de la cobertura de aptitud agrícola, analfabetismo, nivel de instrucción, intención de construcción, y emigración, también se ejecuta la correlación pareada. En este caso, las variables arrojan los siguientes resultados recogidos en la Tabla 19.

Tabla 19. Correlación pareada de variables incluidas variables sociales, Índice de Cramer.

Primera Variable	Segunda Variable	Índice de Cramer
Agua y saneamiento	Analfabetismo	0,5487
	Aptitud agricultura	0,3359
	Emigración	0,3558
	Instituciones de Educación	0,4702
	Instituciones de Salud	0,4113
	Intención	0,6729
	Nivel Instrucción	0,2101
	Pendiente Terreno	0,3243
	Plan de Usos del Suelo	0,2900
	Vías y tendido eléctrico	0,5938
Analfabetismo	Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes	0,5274
	Aptitud de la agricultura	0,4461
	Emigración	0,5367
	Instituciones de Educación	0,5808
	Instituciones de Salud	0,4186
	Intención	0,4873
	Nivel Instrucción	0,4494
	Pendiente Terreno	0,3504
	Plan de Usos del Suelo	0,4957
	Vías y tendido eléctrico	0,4823
Aptitud_agricultura	Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes	0,5694
	Emigración	0,2752
	Instituciones de Educación	0,2992
	Instituciones de Salud	0,2940
	Intención	0,6571
	Nivel Instrucción	0,3624
	Pendiente Terreno	0,3964
	Plan de Uso del Suelo	0,3225

Primera Variable	Segunda Variable	Índice de Cramer	
Emigración	Vías y tendido eléctrico	0,3774	
	Probabilidad por Distancia a		
	Asentamiento Existentes	0,3346	
	Instituciones de Educación	0,3161	
	Instituciones de Salud	0,2845	
	Intención	0,4406	
	Nivel Instrucción	0,3894	
	Pendiente Terreno	0,2053	
	Plan de Uso del Suelo	0,2986	
	Vías y tendido eléctrico	0,3684	
Instituciones de Educación	Probabilidad por Distancia a		
	Asentamiento Existentes	0,2428	
	Instituciones de Salud	0,3819	
	Intención	0,4728	
	Nivel Instrucción	0,2558	
	Pendiente Terreno	0,2721	
	Plan de Uso del Suelo	0,2972	
	Vías y tendido eléctrico	0,5150	
	Probabilidad por Distancia a		
	Asentamiento Existentes	0,4789	
Instituciones de Salud	Intención	0,5248	
	Nivel Instrucción	0,2342	
	Pendiente Terreno	0,2509	
	Plan de Uso del Suelo	0,2767	
	Vías y tendido eléctrico	0,3944	
	Probabilidad por Distancia a		
	Asentamiento Existentes	0,3749	
	Intención	Nivel Instrucción	0,3081
		Pendiente Terreno	0,5654
		Plan de Uso del Suelo	0,6388
Vías y tendido eléctrico		0,6546	

Primera Variable	Segunda Variable	Índice de Cramer
	Probabilidad por Distancia a	
	Asentamiento Existentes	0,5879
Nivel Instrucción	Pendiente Terreno	0,1858
	Plan de Uso del Suelo	0,2667
	Vías y tendido eléctrico	0,1710
	Probabilidad por Distancia a	
	Asentamiento Existentes	0,2223
Pendiente Terreno	Plan de Uso del Suelo	0,3921
	Vías y tendido eléctrico	0,3145
	Probabilidad por Distancia a	
	Asentamiento Existentes	0,3387
Plan de Uso del Suelo	Vías y tendido eléctrico	0,2995
	Probabilidad por Distancia a	
	Asentamiento Existentes	0,2722
Vías y tendido eléctrico	Probabilidad por Distancia a	
	Asentamiento Existentes	0,5543

Fuente: elaboración propia.

La variable “Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes”, es una variable que se genera dentro del modelo y que para este particular es trascendental debido a su efecto en la propagación del fenómeno. Las nuevas correlaciones no han superado el valor de 0,6713 del análisis pareado de las variables combinadas (“Tendido Eléctrico” y “Vías y Calles”), por lo que se conservarán todas variables para que en la siguiente sección “Validación del Modelo” se contrasten los resultados.

8.3. Validación, grado de predicción del modelo.

Como se menciona en la metodología, para comparar y validar el modelo se utiliza la simulación de la expansión urbana generada No. 15, que correspondería al año 2018, y la cobertura real de la expansión urbana de ese mismo año, 2018 (Figura 73). En este punto, se han generado dos simulaciones diferentes que corresponden a cada una de las versiones del modelo: el que incluye solo las variables físicas y el que, además de las variables físicas, incorpora las variables sociales. Por lo tanto, se calculan las validaciones (grados de predicción) para las dos versiones del modelo. Como parte de los resultados de la correlación de variables, se presenta una variante con las variables “Tendido Eléctrico” y “Vías y Calles” que fueron combinadas. Es decir, en un primer momento se calcula el grado de predicción para el modelo con las 7 variables físicas y el mismo grado de predicción para el modelo con 6 variables físicas (variables combinadas “Vías y tendido eléctrico”). En un segundo momento se calcula el grado de predicción del modelo que incluye 6 variables físicas (variables combinadas “Vías y tendido eléctrico”) y las variables sociales. Cada uno de estos momentos tiene las variantes de la parametrización de la función de Autómatas Celulares que el modelo utiliza “*Patcher*” (“*Patch Mean Size*”, “*Patch Variance*” y “*Patch Isometry*”) (Figura 73). De esta forma, en la Tabla 20 se resume los porcentajes alcanzados (Grado de Predicción) después de combinar los parámetros de la función “*Patcher*” que controlan la reproducción de los nuevos estados (crecimiento urbano) y los dos momentos aplicados.

A continuación, se presenta el detalle de los resultados de cada caso y momentos ejecutados.

Tabla 20. Grado de predicción obtenido bajo diferentes escenarios y sobre dos combinaciones de las variables predictoras.

Fases de ejecución	Variables Incluidas	Número de Variables	Parámetros de configuración			Grado de Predicción (%)
			<i>Patch Mean Size</i>	<i>Patch Variance</i>	<i>Patch Isometry</i>	
Primer Momento	Variables Físicas	7	0	1	0	72,6
			1	1	0	73,9
			1	0	0	74,0
	(combinación de Tendido Eléctrico y Vías y Calles)	6	0	1	0	75,7
			1	1	0	77,0
			1	0	0	76,0
Segundo Momento	Variables Físicas (combinación de Tendido Eléctrico y Vías y Calles) y	11	0	1	0	70,5
			1	1	0	72,0
	Sociales		1	0	0	72,3

Fuente: elaboración propia.

8.3.1. Primer momento: validación con siete variables (Variables físicas).

Para la validación de los resultados obtenidos con la combinación de las siete variables, se ha tomado el modelo diseñado en la Figura 73, y se ha variado la configuración de la función “*Patcher*”. Cabe resaltar que, cuando el valor “*Patch Mean Size*” aumenta se obtiene paisajes (parches) menos fragmentados, cuando “*Patch Variance*” aumenta se obtiene paisajes más diversos (parches de diferentes formas) y cuando “*Patch Isometry*” es mayor a 1 los paisajes tienden a ser circulares concéntricos. Las tres

configuraciones se aplicaron para representar tres escenarios observados en el área de estudio:

- fragmentado pero diverso (expansión urbana), “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0
- menos fragmentado pero diverso (densificación y expansión urbana), “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0
- menos fragmentado y menos diverso (densificación urbana), “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0
- “*Patch Isometry*” en todos los casos es 0, puesto que, no se observa asentamientos urbanos circulares o concéntricos. A continuación, se presentan los resultados de tres ejecuciones con las tres configuraciones diferenciadas de la mencionada función.

La combinación, “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0 generó el Mapa de Probabilidad de transición que aparece Figura 97 – c, alcanzando un grado de predicción de 72,6% (Figura 98).

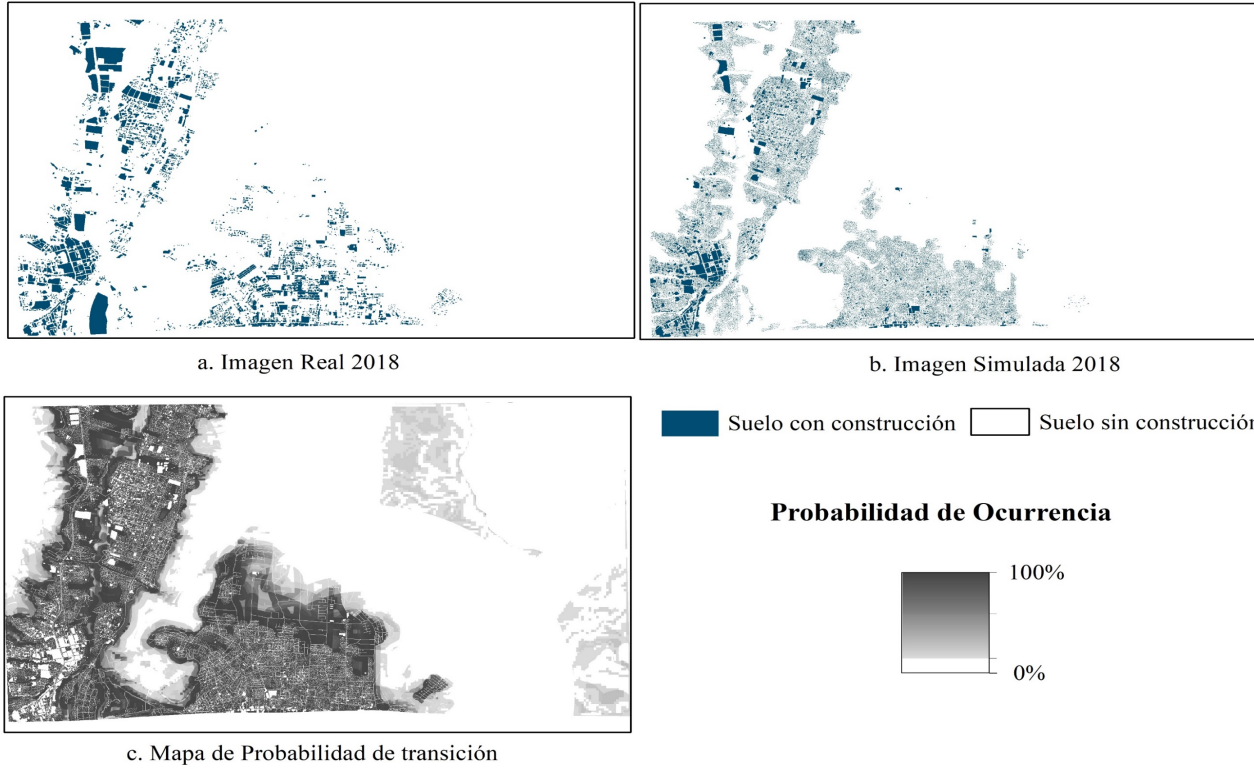


Figura 97. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

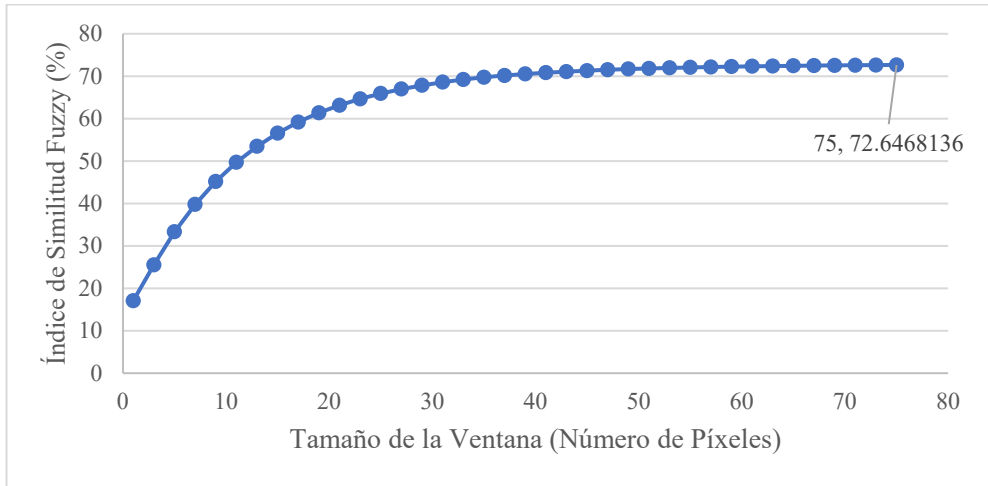


Figura 98. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

Con una combinación, “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0 se generan los resultados que aparecen en la Figura 99 alcanzando una validación de 73,9% (Figura 100).

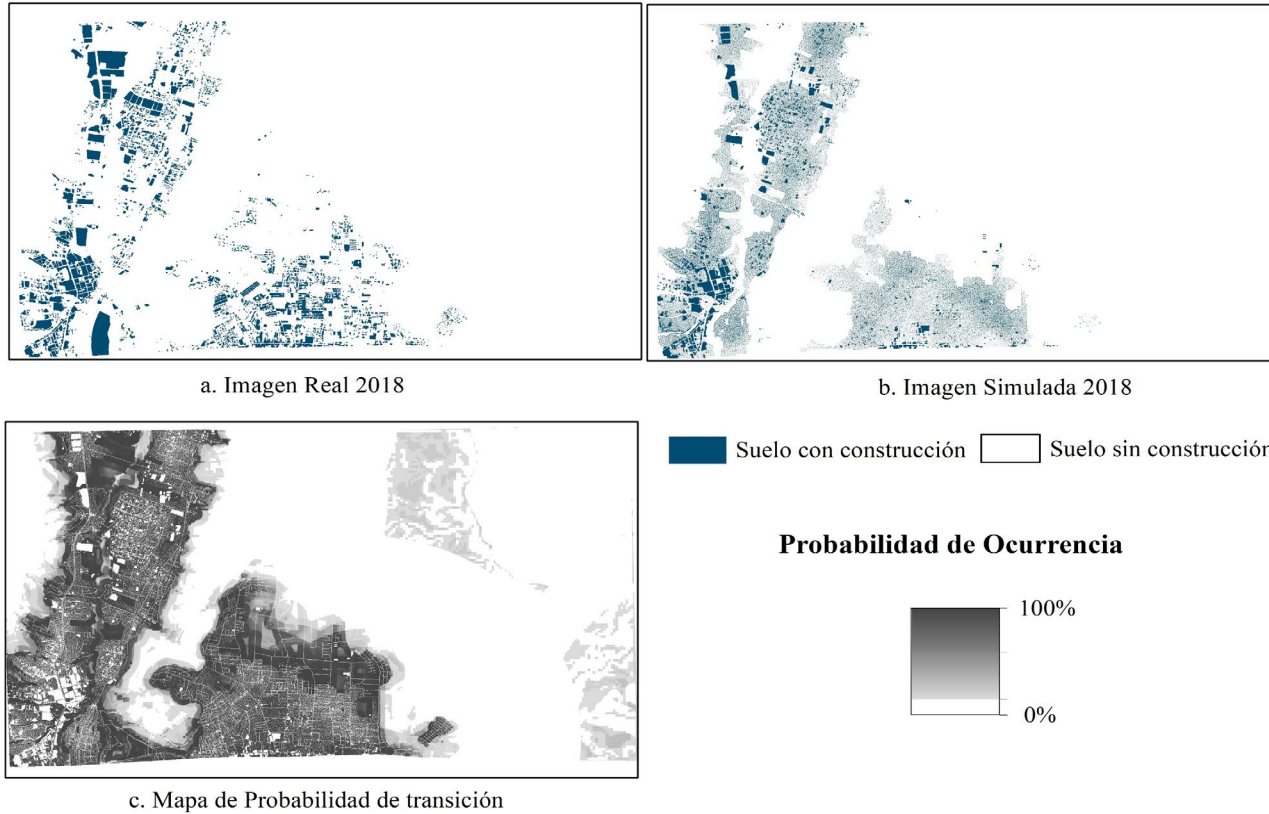


Figura 99. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

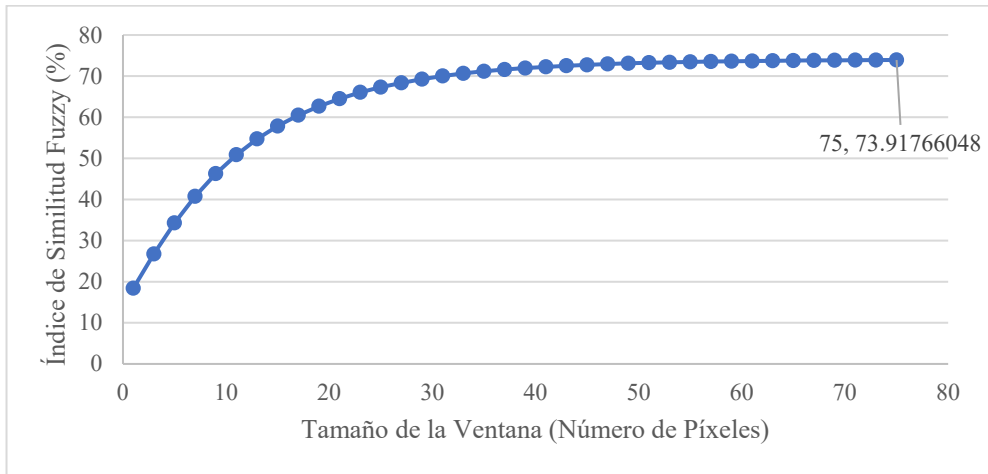


Figura 100. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

En la tercera combinación, “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0 se generan los resultados de la Figura 101; en este caso se alcanzó una validación del 74,0% (Figura 102).

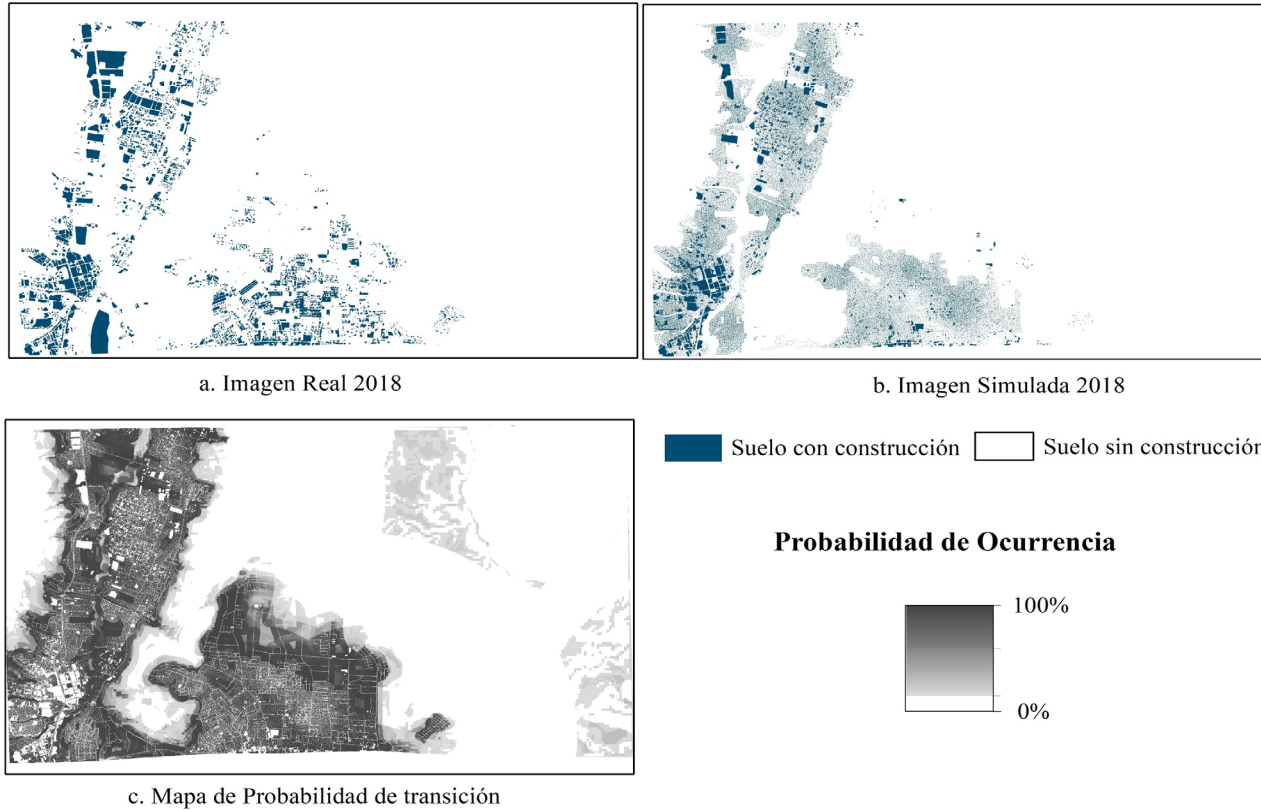


Figura 101. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “Patch Mean Size” = 1, “Patch Variance” = 0 y “Patch Isometry” = 0.

Fuente: elaboración propia.

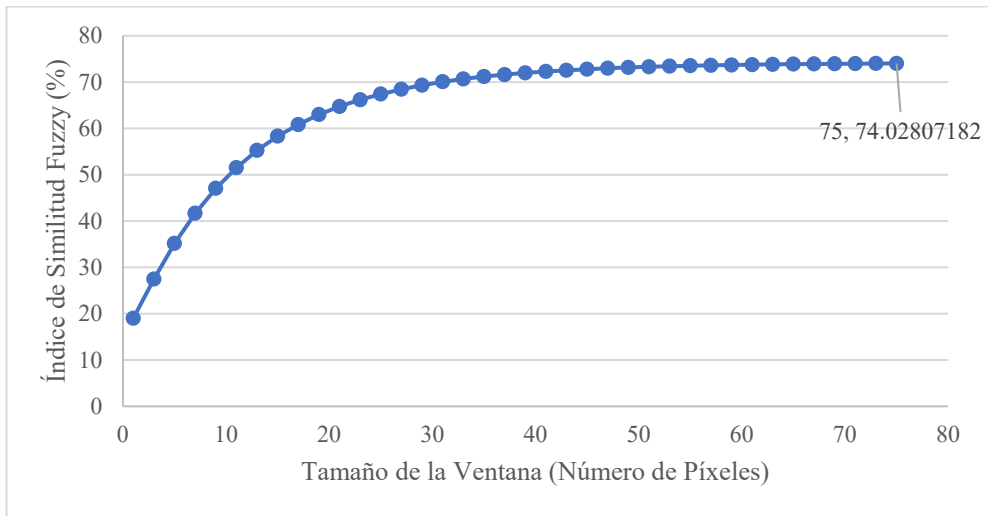


Figura 102. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

8.3.2. Primer momento: validación con seis variables (combinación de las variables “Tendido Eléctrico y Vías y Calles”).

A continuación, se presentan tres diferenciales de los patrones de reproducción de las simulaciones y grado de predicción del modelo. La combinación, “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0 generó los resultados de la Figura 103, alcanzando un grado de predicción de 75,7% (Figura 104).

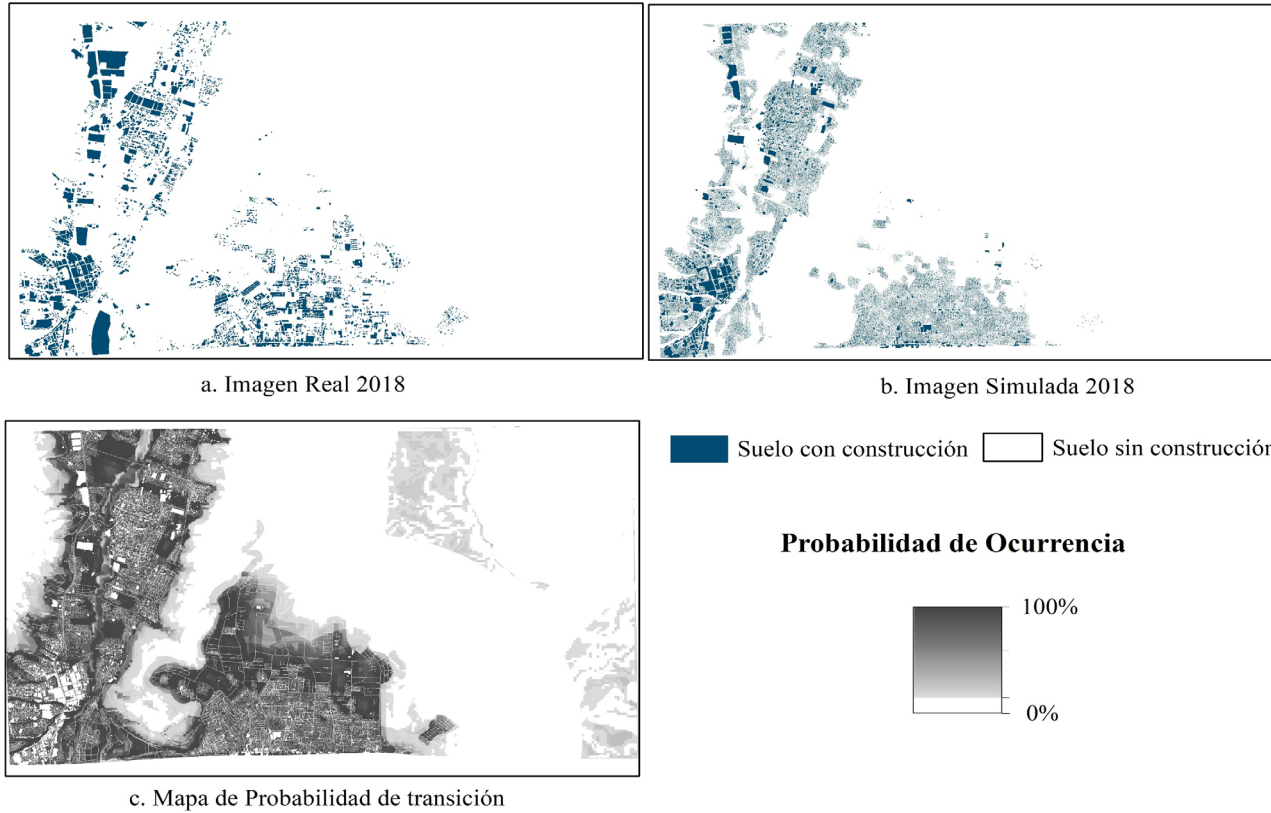


Figura 103. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “Patch Mean Size” = 0, “Patch Variance” = 1 y “Patch Isometry” = 0.

Fuente: elaboración propia.

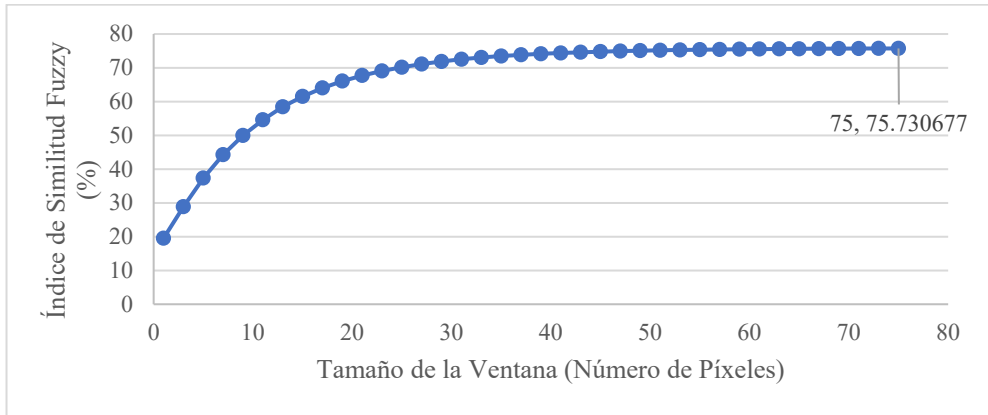


Figura 104. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

En una segunda combinació “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0 se generan los resultados de la Figura 105 alcanzando una validación de 77,0%, tal y como se puede apreciar en la Figura 106.

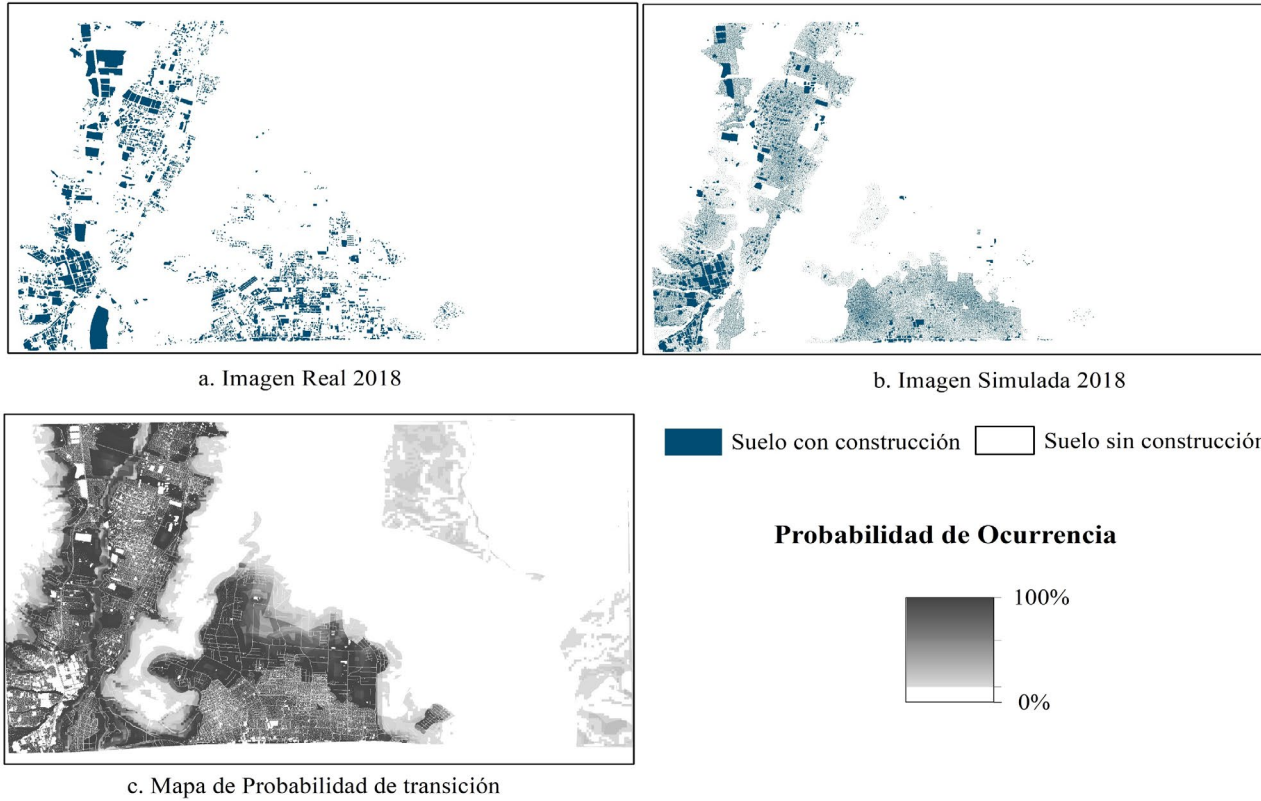


Figura 105. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

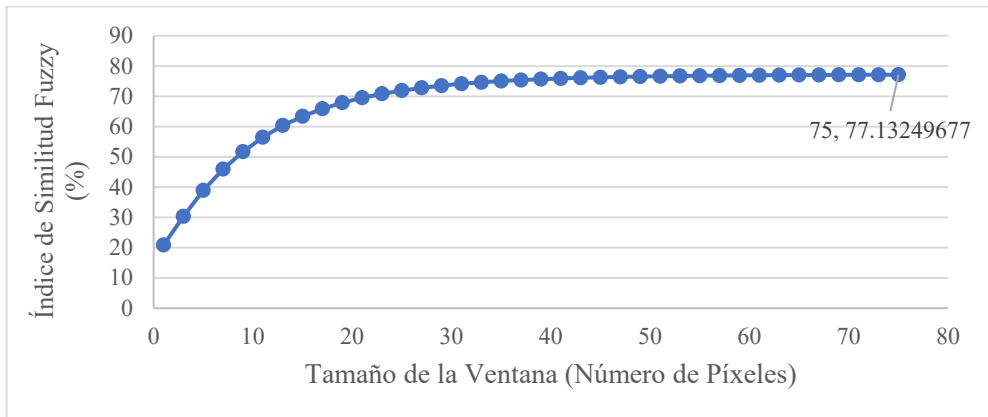


Figura 106. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

En la tercera combinación se aplicaron los parámetros de “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0 dando lugar a los resultados que pueden apreciarse en la Figura 107 y alcanzando una validación de 76,0% (Figura 108).

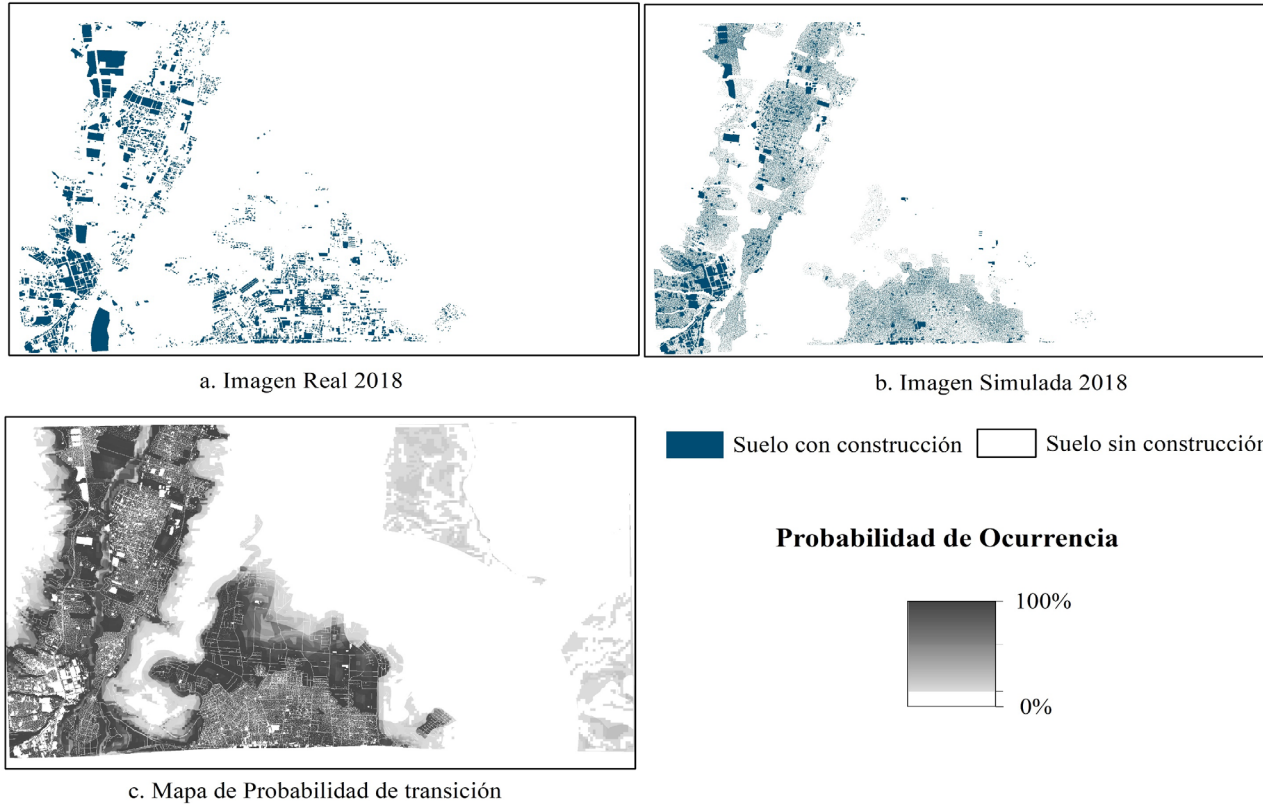


Figura 107. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

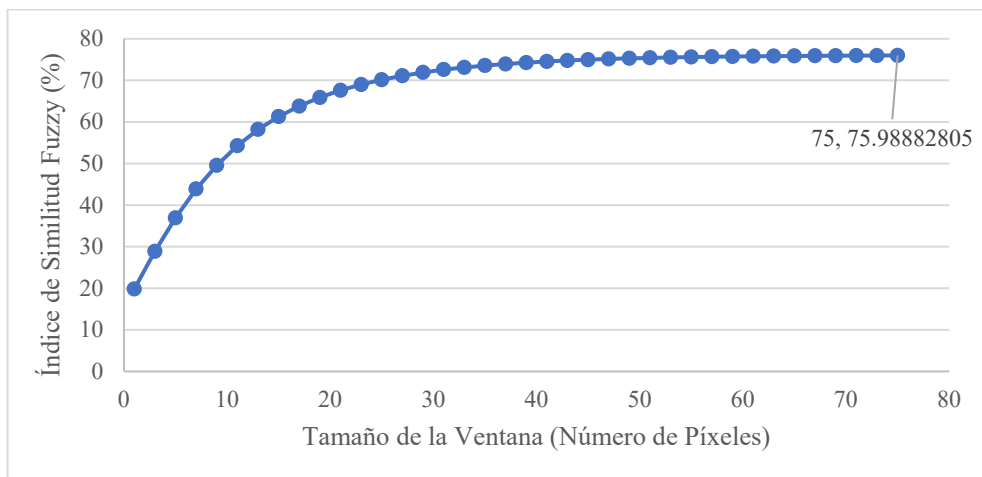


Figura 108. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

8.3.3. Segundo momento: validación con seis variables físicas (variables combinadas “Tendido Eléctrico y Vías y Calles”) y variables sociales.

En el segundo momento de la validación (Tabla 20), el modelo está formado por las 6 variables físicas (variables combinadas de “Tendido Eléctrico y Vías y Calles”) más las variables sociales. A continuación, se presentan los tres diferenciales de los patrones de reproducción de las simulaciones y grado predicción del modelo que, como ya se ha mencionado, considera las variables físicas y las variables sociales. La combinación de los parámetros de la función “*Patcher*” aplicada es: “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0. Los resultados obtenidos se presentan en Figura 109, mientras que en la Figura 110 aparece que el grado de predicción alcanzado en este caso se eleva a 70,5%.

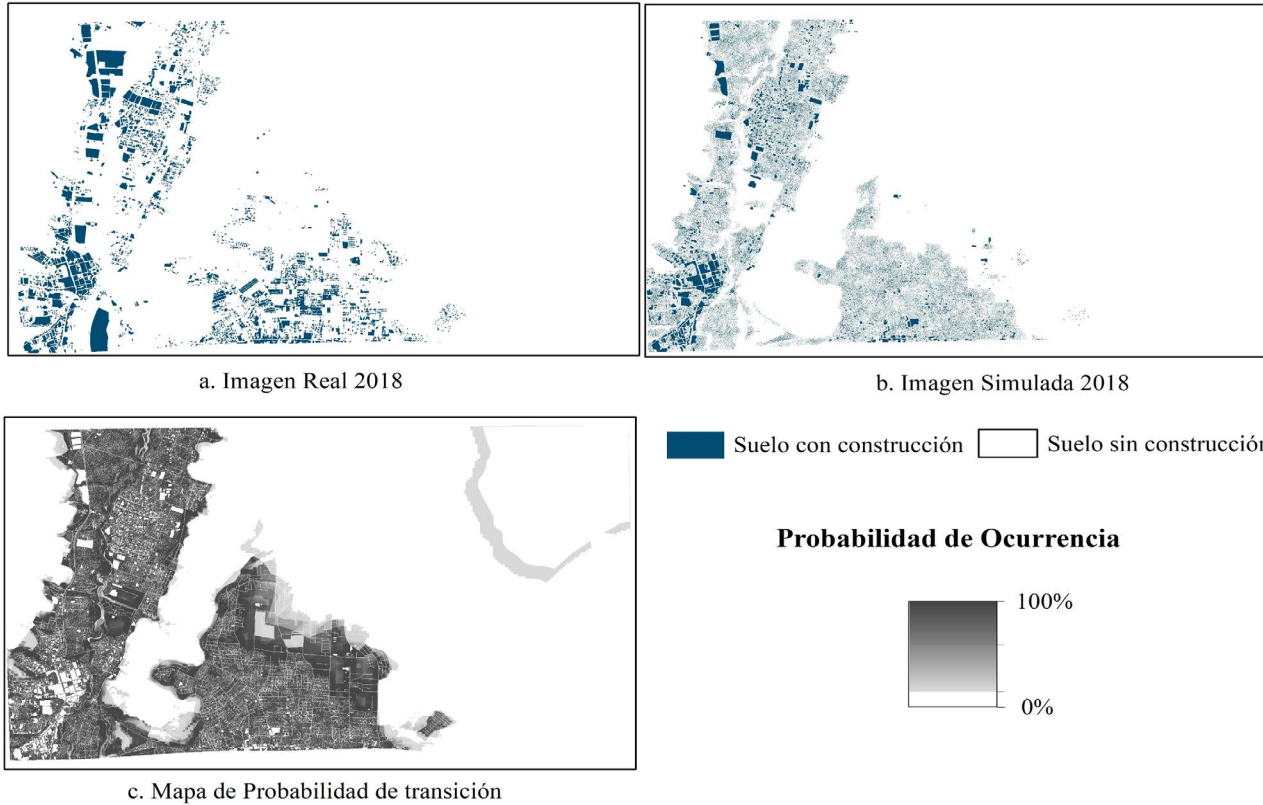


Figura 109. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

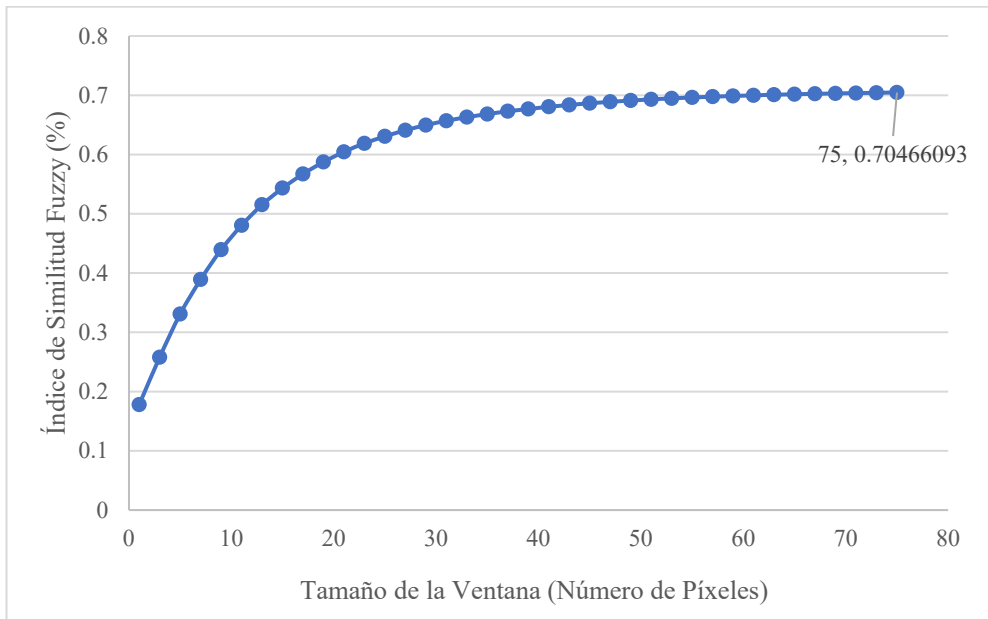


Figura 110. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 0, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

En la segunda combinación de la función “*Patcher*” se aplicaron los valores de “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0 que generan los resultados de la Figura 111 y alcanzan una validación de 72,0%, tal y como refleja la Figura 112.

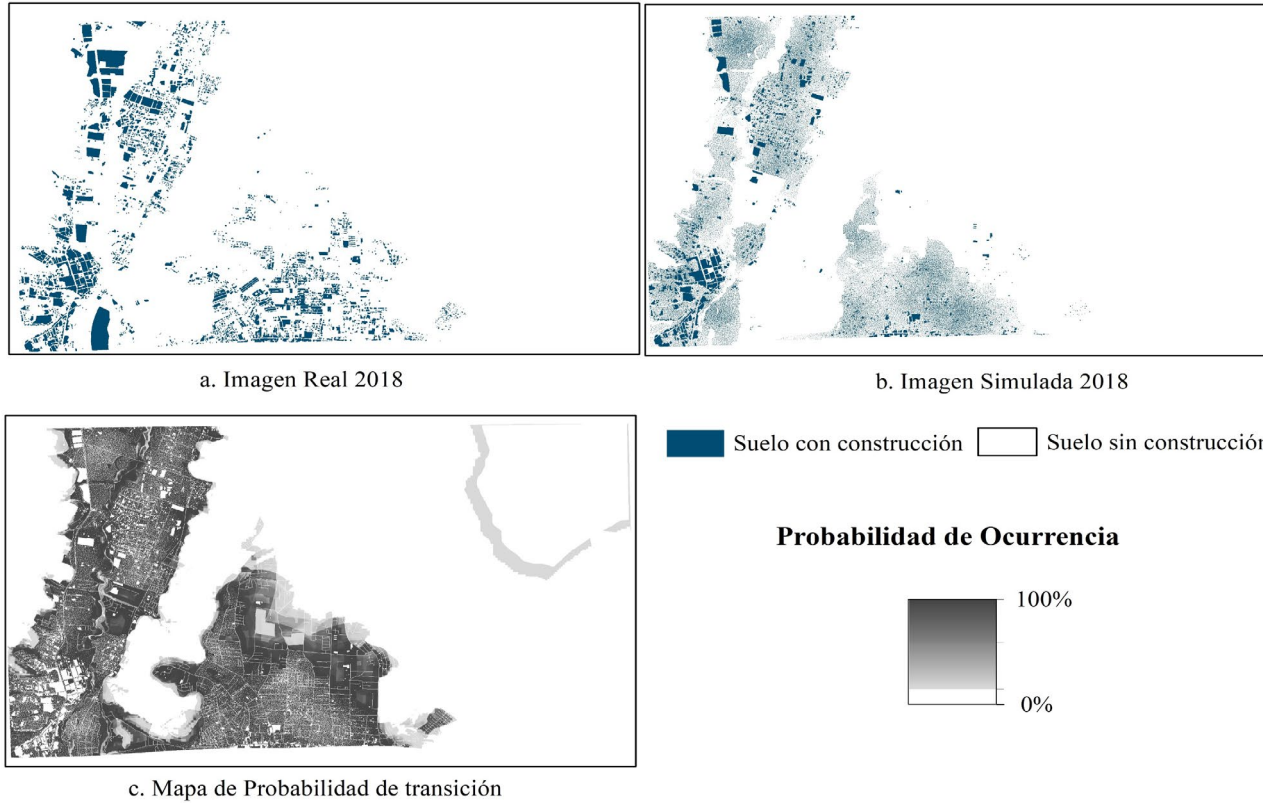


Figura 111. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

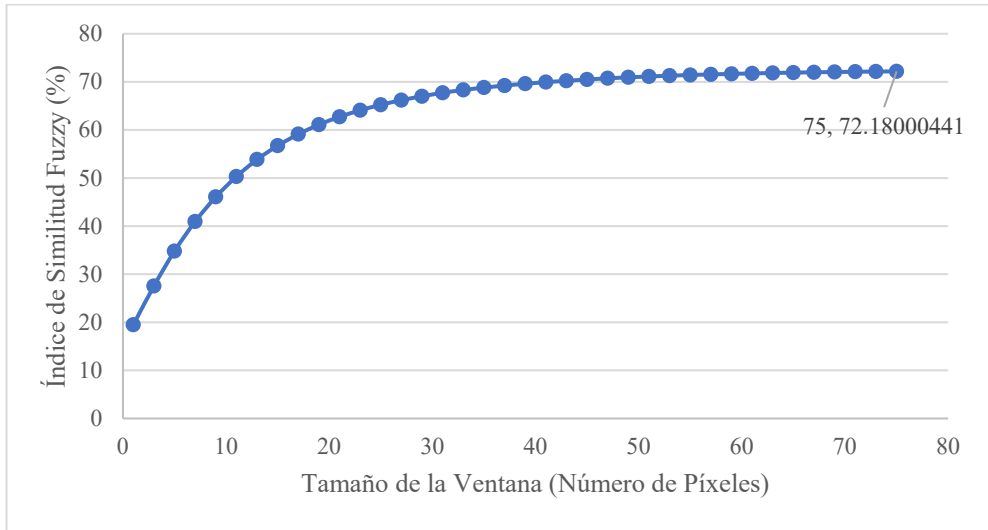


Figura 112. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

Por último, en la tercera combinación se aplica un “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0. En la Figura 113 se recogen los resultados obtenidos mientras que en la Figura 114 se observa que el valor de la validación es de 72,3%.

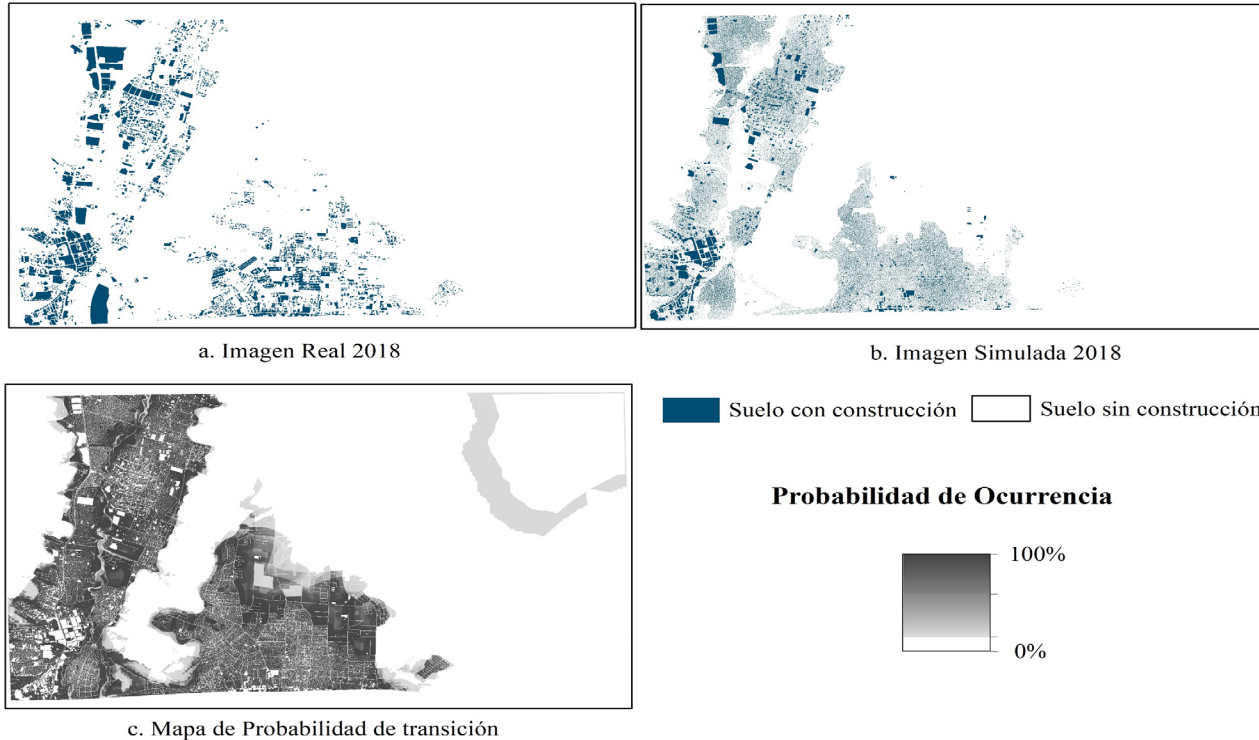


Figura 113. (a) Imagen real 2018, (b) Imagen simulada 2018 generada por el modelo y (c) mapa de probabilidad de transición, mapas generados con configuración “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

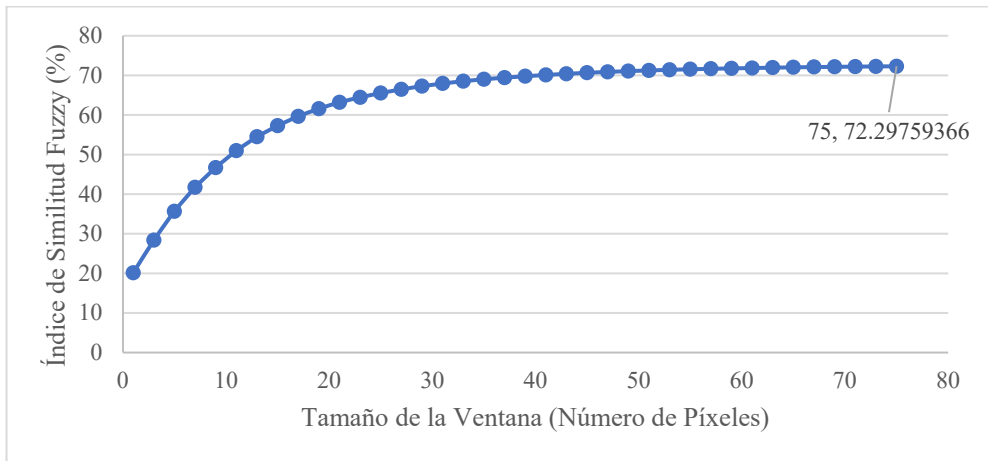


Figura 114. Índice de similitud basado en ventanas de tamaños múltiples para la simulación configurada con “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 0 y “*Patch Isometry*” = 0.

Fuente: elaboración propia.

Según el grado de predicción calculado expuesto en la Tabla 20, se observa que el hecho de combinar las variables que registraron duplicidad (alto grado de asociación o de correlación), devuelve porcentajes de validación o predicción más altos. En particular, los resultados del primer momento ejecutado con seis variables (combinación de “Vías y calles” y “Tendido Eléctrico”) con la configuración de los parámetros de la función “*Patcher*”: “*Patch Mean Size*” = 1, “*Patch Variance*” = 1 y “*Patch Isometry*” = 0 (Figura 99), cuentan con validaciones superiores al resto, pero no solo numéricamente; en comparación visual con la realidad contemporánea se observa que las simulaciones generan patrones espaciales similares de crecimiento.

8.4. Expansión urbana de la periferia del nororiente de Quito, parroquia de Calderón

De acuerdo a las validaciones ejecutadas, el modelo que combinó únicamente las variables físicas con una capa que fusionaba los valores de las variables de “Tendido Eléctrico” y “Vías y Calles” (“Vías y tendido eléctrico”) junto a la configuración de “*Mean Size*” = 1, “*Size Variance*” = 1 e “*Isometry*” = 0 en la función “*Patcher*”, arrojó el grado de predicción más alto entre todos (77,0%) los escenarios elaborados. De modo que este será el modelo seleccionado para realizar el resto de fases metodológicas.

El modelo para generar las proyecciones de crecimiento y asentamientos urbanos cuenta con dos funciones de autómatas celulares, “*Patcher*”, ya utilizado en la validación del modelo, y “*Expander*”, el cual se encarga de expandir o contraer el fenómeno estudiado, el crecimiento urbano (expansión urbana).

El modelo se ejecuta para los treinta y dos años siguientes (de 2018 a 2050), lo que supone realizar 32 iteraciones. El crecimiento en términos numéricos para este periodo futuro se incrementa desde los 3,25 km² en el año 2018 (Escenario real), a los 9,31 km² en el año 2050 (Iteración 32). En la Figura 115 se toman como referencia periodos de 10 años para observar la evolución de la expansión urbana en la periferia del área de estudio.

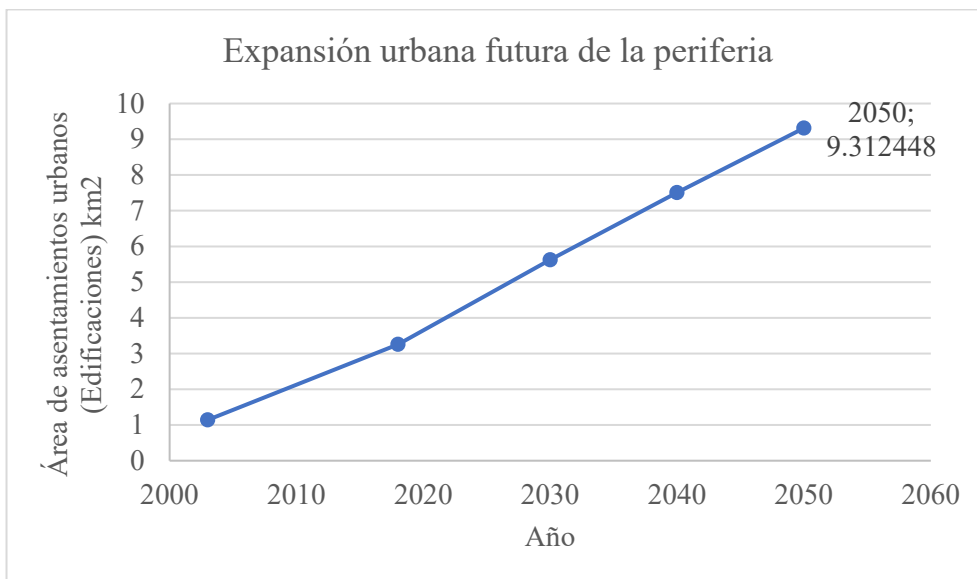


Figura 115. Expansión urbana futura de la periferia de estudio. Fuente: elaboración propia, ejecución del modelo.

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la disposición geográfica del crecimiento, los escenarios futuros se han calculado bajo dos configuraciones de la función de autómatas celulares “*Expander*”: un enfoque de crecimiento totalmente fragmentado y otro con escenarios más consolidados y diversos. A continuación, se presentan los resultados de las proyecciones geográficas para los 10, 20 y 32 años de la simulación.

8.4.1. Proyecciones de expansión urbana futura, escenarios de crecimiento urbano.

Los resultados de los escenarios futuros se obtienen manteniendo la misma configuración “*Mean Size*” = 1, “*Size Variance*” = 1 e “*Isometry*” = 0 en la función “*Patcher*”, y de igual manera la función “*Expander*”. Es decir, se

ejecuta el modelo de la Figura 79 que incluye estas dos funciones de AC. Se configura con estos valores con el objetivo de mantener la lógica de la validación, escenarios fragmentados sin isometría. La Figura 116, muestra los resultados para los 10, 20 y 32 años posteriores.

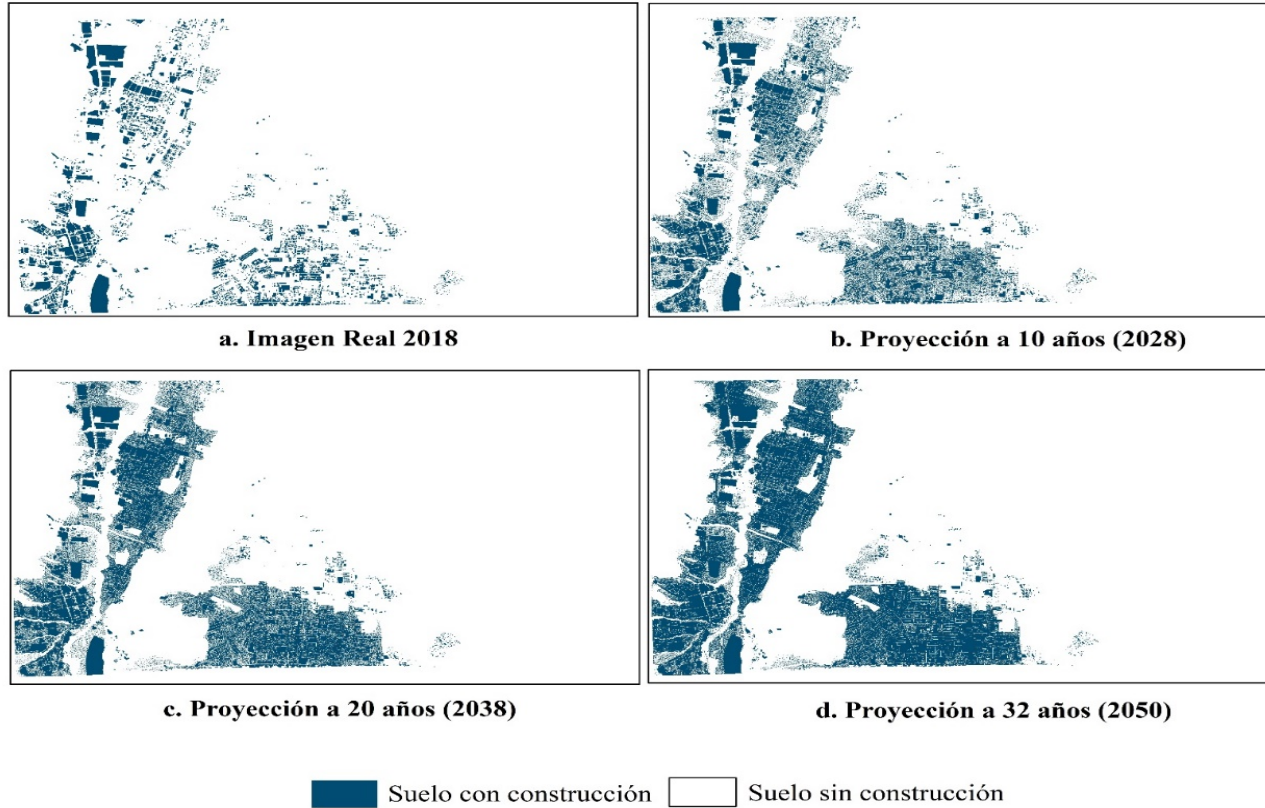


Figura 116. Coberturas geográficas de las proyecciones futuras de la periferia estudiada.

Fuente: elaboración propia.

8.4.2. Evidencias de la expansión urbana.

El crecimiento espacial no solo se evidencia en los cálculos y proyecciones matemáticas presentadas (modelos de transición de usos y modelos predictivos), también se corrobora, entre otros aspectos, por la dinámica comercial inmobiliaria en el sector estudiado. En las visitas realizadas se encuentra una gran cantidad de anuncios y actividades de comercio inmobiliario sobre los terrenos disponibles, generalmente producto de la subdivisión de grandes propiedades, promocionando evidentemente la construcción (Figura 117). Los denominados “conjuntos habitacionales” son abundantes en el sector.



a)



b)



c)

Figura 117. a, b Promoción de venta de lotes en lugares poco convencionales, cercanías de la zona de estudio y c promoción y venta en el mismo terreno.

Fuente: elaboración propia.

Además, las evidencias observadas también permiten determinar que en la zona de estudio y en sus alrededores, la dinámica de los asentamientos que acarrea el crecimiento urbano se basa en su mayoría en edificaciones informales, que también incluye a la infraestructura vial informal. Sin embargo, la propiedad del suelo es legal, cuenta con propietario legal; es decir, no se pueden considerar invasiones ilegales.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

CAPÍTULO 9

9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

9.1. Discusión.

Esta investigación parte de la base de un crecimiento urbano positivo, no de contracción urbana, no obstante, las matrices de transición muestran valores en las transiciones de 1 (suelo con construcción) a 0 (suelo sin construcción); es decir, que también se consideran las edificaciones presentes en 2003 y que han desaparecido en 2018. La técnica aplicada, matrices de transición (matrices de Markov), generalmente es utilizada en la modelación ambiental del cambio del uso de suelo y en estudios de deforestación (Soares-Filho et al., 2009; Mas y Flamenco, 2011), pero es muy adecuada para calcular las tasas de crecimiento urbano.

Existe una gran variedad de técnicas y algoritmos ampliamente utilizados para calcular las reglas de transición o también conocidos como potenciales de transición; algunos expuestos en la Tabla 7 como soluciones de inteligencia artificial (Rovira y Lavanderos, 2008). Según Batty, Xie y Sun (1999) los métodos comúnmente aplicados en modelamientos urbanos para determinar los potenciales de transición son las regresiones logísticas y la evaluación multicriterio, como lo emplean Linares y Picone (2018); pero también las metodologías que introducen aleatoriedad en sistemas complejos (ciudades) como la que presentan Batty y Xie (1996) son ampliamente usadas. Sin embargo, la metodología de este trabajo aplica el método de pesos de evidencia debido a que cuenta con la versatilidad de basarse en la certidumbre real del área estudiada, elimina la aleatoriedad en la elaboración de los potenciales de transición y proporciona condicionantes

más ajustadas a la realidad para determinar las probabilidades de cambio y consecuentemente guiar a los AC a generar escenarios comparables. Si bien el método de pesos de evidencia es ampliamente utilizado para modelamiento ambiental, específicamente para el análisis de cambio de uso del suelo, la mecánica de esta técnica se acopla muy bien para estudiar el crecimiento urbano (Ulloa-Espíndola y Martín-Fernández, 2021; Mas y Flamenco, 2011; Sahagún-Sánchez et al., 2011).

El análisis de correlación de las variables predictoras (factores explicativos) puede implicar utilizar tanto técnicas estadísticas como evaluaciones con criterios de expertos. Por ejemplo, Lamparte et al. (2013) emplean una prueba de correlación de variables a través del coeficiente de Spearman basándose en la regresión logística y eliminando en varias iteraciones las variables con correlaciones positivas elevadas para evitar duplicidades. Así mismo, los trabajos que se inclinan por construir los potenciales de transición con regresiones logísticas también optan por medir las asociaciones de sus factores con el índice de Pearson. Por su parte, Barreira González et al. (2015) ejecutan una eliminación prácticamente manual de los factores involucrados, para ello realizan pruebas de todas las combinaciones de las variables, obteniendo varios modelos para contrastar los resultados y su robustez; posiblemente basados en criterios de expertos. Bajo el mismo enfoque, se encuentran los trabajos que utilizan las técnicas de evaluación multicriterio para valorar la significancia de los diferentes factores; en estos casos no consideran una exclusión de factores basándose en estadísticos sino que asignan directamente valores de ponderación y priorizaciones, por ejemplo los trabajos de Lahti (2008) y Linares y Picone (2018). En esta investigación se aplica una combinación de un estadístico (Cramer) y una evaluación de la situación del área de estudio para combinar o desechar variables predictoras consideradas. En definitiva, la combinación

o no de diferentes técnicas para determinar el nivel de asociación entre las variables se refleja en la validación del modelo y posteriormente en los resultados.

La validación de los resultados del modelo es una etapa decisiva del proceso, innumerables autores han utilizado el índice Kappa para determinar la similitud entre escenarios geográficos, sin embargo, existe varias controversias y críticas a la metodología y resultados de este índice (Kappa) como la de Barreira et al. (2015), quienes debaten sobre el uso de este estadístico para validar los escenarios generados por geoprocesamientos, puesto que, los porcentajes de validación no superan el 70%.

Otros trabajos como el de Pontius et al. (2008) y Linares y Picone (2018) utilizan los indicadores, figura de mérito, exactitud productor y exactitud usuario para medir similitudes, a través de tres coberturas para la validación: una cobertura real en tiempo 1, una cobertura real en tiempo 2 y una cobertura simulada en el mismo tiempo 2. En un trabajo similar, Linares et al. (2014) validan el modelo a través de matrices de confusión que permiten deducir cuatro medidas relativas: exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor y coeficiente Kappa. En otros casos realizan las validaciones a través de muestras aleatorias mediante algoritmos que eligen sectores de control, como es el caso del trabajo de Amuzurrutia et al. (2015) quienes se apoyan en muestras aleatorias cruzadas. Estos métodos combinados han obteniendo resultados entre 83,0% y 90,0%, con un promedio de 86,0%.

La metodología de validación aplicada en este trabajo se basó principalmente en una evaluación recíproca de las coberturas y en el efecto de una función de probabilidad de decaimiento constante, evaluadas a través de ventanas de tamaños múltiples que permite analizar el entorno,

identificando patrones de crecimiento, no solo en una contabilización de coincidencias (Ulloa-Espíndola y Pérez-Albert, 2022). Soares-Filho et al., (2009) utilizan esta metodología para modelar cambios de uso de suelo (deforestación) en la Amazonía Brasileña alcanzando 80,0% de validación.

En el trabajo de Huamani (2010) se generan escenarios futuros del crecimiento de la mancha urbana a 10 años, a una escala mucho más pequeña que la de este estudio, a nivel de toda la ciudad del Cusco, Bolivia. Aguilera (2006) simuló el modelo de crecimiento urbano del área metropolitana de Granada (España), de igual manera, la escala utilizada es relativamente pequeña; Pacheco (2015) trabajó sobre la Comunidad Madrid, España y Avalos et al. (2019) sobre la zona metropolitana de Tepic-Xalisco, México, también a escala de ciudad. En los trabajos consultados hasta el momento todos los modelados urbanos con AC se aplican en áreas de estudio amplias como ciudades o incluso áreas metropolitanas. Además, los resultados de estos modelos (escalas pequeñas en áreas de estudio amplias) llegan a generar ambientes simulados muy coherentes con la realidad. Este trabajo, en contraposición a los anteriores, trata de modelar a grandes escalas el fenómeno de asentamientos urbanos (crecimiento urbano) en un sector periférico específico, relativamente pequeño, de una parroquia de Quito.

Los trabajos consultados que incluyen variables explicativas sociales en el modelamiento del crecimiento y expansión urbana, aportan perspectivas y resultados más interesantes, siempre y cuando la precisión de las variables explicativas corresponda con la escala de la variable a ser explicada. En el caso de esta tesis, la información de las variables sociales no cuenta con el nivel de detalle adecuado (por ejemplo, nivel de instrucción), por lo que la validación del modelo que integra variables físicas y sociales es menor a la validación del modelo que integra variables físicas.

9.2. Conclusiones

La predicción del crecimiento de las ciudades es una herramienta que sienta las bases para generar políticas públicas en torno al fenómeno desmesurado de desbordamiento de las periferias que experimentan varias ciudades latinoamericanas. En relación a las diferentes herramientas que ayudan a calcular este fenómeno, es necesario considerar en todo momento la ocupación espacial de los nuevos y futuros asentamientos periféricos y no solamente información numérica en forma de tablas. Es decir, además de calcular el número de habitantes y la superficie que será ocupada por el crecimiento urbano en años futuros, es totalmente imprescindible predecir en qué lugar se producirá este fenómeno. Los resultados del método aquí empleado demuestran que la propuesta metodológica desarrollada aporta una técnica versátil y eficaz para generar proyecciones geográficas del crecimiento urbano, que brinda no solamente información georreferenciada, sino la posibilidad de generar escenarios a futuro según la realidad de cada sector en donde se aplique. Esta metodología comprende el uso de autómatas celulares integrados en Sistemas de Información Geográfica que combinan variables geográficas explicativas para obtener las proyecciones geográficas futuras. Cabe recalcar que estas herramientas son una propuesta para complementar y apoyar la gestión de la planificación urbana, no excluye el uso de otras metodologías que se han demostrado eficaces.

Las conclusiones de este trabajo dan respuesta a los objetivos planteados al inicio de esta investigación y se basan en los resultados expuestos, así como en la experiencia de la aplicación de la metodología. A continuación, se presentan las conclusiones organizadas, a partir de los objetivos y metas propuestas originalmente:

- **Preparación de la información base.**

Este hito inicial tiene como objetivo obtener y/o preparar la información para introducirla en el Sistema de Información Geográfica (SIG).

- Google Earth se revela como una fuente muy potente y extremadamente sencilla de utilizar para el estudio de fenómenos bajo enfoques espacio temporales, como el abordado en esta investigación. Además, a partir de la información ofrecida por Google Earth, se puede lograr analizar áreas de estudio a grandes escalas con resoluciones muy aceptables. En este caso en particular, las edificaciones y construcciones se identifican claramente en el historial de adquisición de imágenes de Google Earth del periodo de estudio y ello ha permitido construir la capa de asentamientos delimitando el crecimiento urbano en los periodos analizados. Google Earth ofrece la oportunidad de identificar los patrones de crecimiento para la calibración del modelo a través de la digitalización y rasterización de las imágenes.
- Para la digitalización del crecimiento y densificación urbana (variable dependiente) en la periferia estudiada, se estableció un tamaño de píxel de 4 metros, resultando conveniente por el tipo de edificaciones de los asentamientos del área de estudio (tamaño de la Unidad Mínima Cartografiable), por lo tanto, las variables predictoras (variables independientes) deben corresponder a esta escala de trabajo, de manera que los resultados de los procesos derivados de la incorporación de estas al modelo concuerden con el nivel de precisión deseado. En resumen, la escala seleccionada debe de permitir identificar las edificaciones tipo de la variable dependiente (nuevos asentamientos urbanos), y, además, la mencionada escala se ha de

tener presente en todo el proceso, es decir, a la hora de generar las variables independientes.

- El aporte de los SIG en la compilación y estructuración de la información juega un papel indispensable en la canalización y homologación de la información proveniente de diferentes fuentes, así como de formatos diferentes; sobre todo cuando es necesario construir un ambiente muy particular para ejecutar metodologías con lógica autónoma (AC).

Con respecto a la disponibilidad de información de las periferias de la ciudad de Quito, concretamente en el área de estudio, se alcanza la siguiente conclusión:

- Debido a que la zona de estudio no cuenta con información socioeconómica oficial actualizada a escala catastral rural (1:5.000), el modelo diseñado solo pudo ser calibrado con variables socioeconómicas a una escala diferente (1:25.000). Sin embargo, los resultados obtenidos con la versión del modelo que combina todas las variables (físicas y sociales) son muy prometedores y reflejan coherencia con la realidad; sobre todo considerando que el estudio se realizó a través de observaciones telemétricas que simulan las condiciones reales en las que se desenvuelven las entidades gubernamentales locales que monitorean la expansión urbana.
- A pesar de que la información socioeconómica incluida en esta investigación fue construida con base en el último censo registrado en el Ecuador en 2010 y que sus escalas son pequeñas (1:25.000 y hasta 1:100.000), se podrían construir modelos predictivos que generen resultados aceptables y comparables, siempre y cuando sean

combinadas con variables físicas que permitan a los planificadores tener perspectivas más precisas que las actuales.

- **Análisis bibliográfico para identificar las variables que contribuyen a la expansión de los asentamientos urbanos.**

- La rápida urbanización es una problemática mundial, pero es muy evidente que en la región latinoamericana la situación se agrava por las realidades que enfrenta la sostenibilidad de sus ciudades. Este tipo de estudios cada vez se vuelven más comunes entre las ciudades grandes y metrópolis, así como en las denominadas ciudades intermedias de los países de la región. Entre todos los trabajos consultados de la zona se nota una confluencia en la forma de calcular los escenarios futuros, pues se basan en modelaciones matemáticas geográficas multivariantes. En este sentido, y contrastando con trabajos de otras regiones del mundo, sobre todo con los del continente asiático, se confirma que la combinación de los factores conductores (variables predictoras) de la expansión urbana es tan particular como determinante.
- La revisión de la bibliografía con el objetivo de identificar los factores (variables predictoras) que guían el crecimiento urbano, tuvo en cuenta las consideraciones regionales, y se puede afirmar que algunas variables aparecen incuestionablemente en todos los análisis de crecimiento urbano, siendo inherentes al estudio del “*sprawl*”. En este sentido, las variables de accesibilidad, formas y condiciones del terreno y calificación del uso del suelo, son de presencia obligatoria a la hora de construir modelos predictores del crecimiento y expansión urbana. De este modo, las variables consideradas en esta investigación resultan apropiadas para entender los posibles escenarios futuros. Además, después de realizar las diferentes combinaciones de

variables, la que se expone a continuación se identifica como la más influyente para asentar construcciones tanto legales como informales:

- accesibilidad física que comprende ejes viales, cercanías a instituciones de educación y salud y servicios básicos;
- características físicas que comprende pendiente del terreno y uso del suelo, y;
- la influencia por distancia de asentamientos existentes.
- Del conjunto de variables seleccionadas, las más influyentes y determinantes son las de “Vías y Calles” y “Probabilidad por Distancia a Asentamiento Existentes”, debido principalmente a que la apertura de calles informales es realizada de forma arbitraria por los mismos habitantes del lugar. Básicamente las conectan con la calles y vías formales intentando trazar amanzanamientos regulares dentro de los cuales se asienta la informalidad inicial que ejerce una fuerza atractiva para que otras edificaciones informales se instalen. Como consecuencia, la habilitación de calles y vías posibilita la instalación de servicios básicos, en especial del servicio eléctrico que deriva hacia más servicios conexos (agua potable, saneamiento, internet por fibra óptica, televisión de pago, etc.).
- **Uso de Autómatas Celulares (AC) para generar un modelo geográfico predictivo del crecimiento urbano en la periferia norte de Quito.**
- Los AC por su forma de desarrollar sus evoluciones lógicas a partir de reglas sencillas y, sobre todo, por la estructura básica de celdas (células), es un sistema que se acopla muy bien a los geoprocesamientos con formato ráster de los sistemas información geográfica. La potencialidad de esta metodología radica en la

versatilidad de engranar información espacial de cualquier tipo (variables cualitativas y cuantitativas), técnicas geoestadísticas y tecnologías geoespaciales (imágenes procedentes de Sensores Remotos); por lo que el método se ajusta de forma fiable al tipo de información y lógica de evolución del fenómeno estudiado del crecimiento urbano (expansión urbana) que incluye la proliferación de asentamientos informales.

- En el análisis del crecimiento urbano, fenómeno caracterizado como “de desenvolvimiento lento”, la combinación de las metodologías de matrices de transición y de pesos de evidencia con AC resultó conveniente para dimensionar la evolución histórica y determinar la tendencia a futuro de nuevos asentamientos en la periferia.
- El método de pesos de evidencia, proporciona condicionantes de transición adecuadas para determinar las probabilidades de cambio y consecuentemente guiar a los AC a generar escenarios coherentes con la zona de estudio.
- Los resultados derivados de la aplicación de esta técnica (AC) han resultado ser realistas y coherentes, lo que lleva a aseverar que la combinación y análisis multivariable (factores o variables predictoras) es adecuada para estudiar el fenómeno abordado.
- Otra bondad de los AC para modelamiento urbano es que es replicable en las demás zonas periféricas de la ciudad, donde se carece de mediciones e información debido a que requieren de una estructuración compleja de levantamiento censal; bastaría con utilizar las variables físicas del territorio que se las puede obtener directamente de fuentes convencionales. No obstante, si se incluye las variables explicativas sociales, estas deben mantener una correspondencia de precisión y escala con el resto de variables explicativas y con la

variable a ser explicada, de este modo, contribuirán de manera correcta a la modelación.

- **Método de validación del modelo y determinación del grado de precisión del mismo.**

- Los resultados de validación del modelo dependen muy estrechamente de la calibración de sus componentes, sobre todo del efecto de la combinación de las variables predictoras y de la influencia de cada una de ellas al tratar de explicar el fenómeno; se confirma en este punto que las variables predictoras físicas, que ejercen fuerzas sobre el fenómeno estudiado en esta investigación, determinan en un alto grado la predicción.
- Como se observa en los resultados para el área estudiada en particular, la incorporación de variables sociales perjudicó el grado de predicción. De este particular se puede afirmar que los patrones de crecimiento de la zona no obedecen a este tipo de variables y se concluye que la combinación de variables físicas es suficiente para determinar escenarios de futuro más precisos.
- El método de validación (similitud recíproca con función de decaimiento) utilizado brinda un margen mayor de confianza que permite valorar de forma más eficiente el efecto que los diferentes factores ejercen en los procesos previos ejecutados (calibración de los modelos) sobre las proyecciones resultantes. En este sentido, también se puede especificar que, a pesar de que la comparación de mapas continúa siendo un método controvertido en este tipo de procesos, la metodología utilizada es una alternativa más comparable y precisa que solo recurrir, por ejemplo, al índice Kappa y a sus variantes.
- Los resultados de validación en este proyecto se encuentran por encima del 70,0%, considerando el detalle de la escala que se trabajó

(resolución espacial de 4 metros) es un grado de predicción más que aceptable.

- Decidir basándose exclusivamente en “los números” resultantes de la validación del modelo o en los test de validación, no siempre es conveniente. La observación, la experiencia o la consulta a los propios habitantes y expertos son complementos eficaces para validar la adecuación del modelo a las tendencias del crecimiento urbano en el entorno estudiado.
- **Características de los asentamientos del área de estudio y su influencia en la expansión urbana**

En relación a las características de los asentamientos observados en la zona periférica estudiada se extraen las siguientes conclusiones:

- A partir del proceso de digitalización y de las tareas de trabajo de campo en el sector, se aprecia que, en la mayoría de los casos, las edificaciones asentadas son construcciones de bloque y hormigón armado con acabados básicos o sin acabados; corresponden a asentamientos populares ubicados en medio de la irregularidad, a invasión de terrenos y a la falta de respeto de las normativas urbanas municipales. Según los resultados derivados de las encuestas y entrevistas y de la observación directa, se puede afirmar que estas construcciones pertenecen a una clase social con escasos recursos. Sin embargo, también aparecen edificaciones con rasgos constructivos de mayor calidad que reflejan la existencia de cierta propensión a la consolidación, progreso y tendencia a aumentar la calidad de vida de la población, o al menos, de las viviendas que ocupan el territorio. Esto se evidencia, además, en la disponibilidad de equipamientos e infraestructuras: la periferia cuenta con infraestructura de servicios

básicos de agua potable y saneamiento, así como de energía eléctrica; además, las relaciones interurbanas son fuertes y cercanas, sobre todo las vinculadas a la tecnología de la comunicaciones, aeropuerto, autopistas y producción. De esta forma, se considera que el aumento en la densidad espacial urbana es inevitable y la expansión es un proceso axiomático.

- La partición de las propiedades con fines hereditarios y/o comerciales es quizá el agente de proliferación más importante a considerar en el momento de modelar los asentamientos. Debido a la predominante informalidad en las construcciones, la comercialización de propiedades baldías (terrenos) se convierte en una actividad invasiva y con crecimiento exponencial. Tanto es así que la promoción de estas llega a tomar lugares poco convencionales como esquinas de los vecindarios más cercanos, donde existen aglomeraciones de personas y comercio. Esta venta indiscriminada de lotes es potencialmente la principal causa de los asentamientos informales combinada con la apertura no formal de vías y caminos. De hecho, la comercialización y subdivisión de lotes está atada a la apertura de vías y calles debido a que la instalación de servicios conexos (servicios básicos) se hacen sobre estas, además que brinda la accesibilidad a las propiedades.
- Resulta pertinente modelar este fenómeno en áreas cada vez más específicas y particulares, puesto que, cuando el sector estudiado es excesivamente extenso, se pierden detalles y comportamientos que son generalizados en la calibración del modelo, resultando predicciones poco apegadas a la realidad. Considerando que el Distrito Metropolitano de Quito se caracteriza por tener territorios mega diversos, las modelaciones en las diferentes periferias deberán tomar en cuenta diferentes detalles y variables, pero sobre todo escalas de

trabajo adecuadas a los resultados demandados. Es decir, se deben crear modelos de crecimiento individuales y específicos para cada una de las periferias identificadas en la ciudad.

- **Proyecciones del crecimiento urbano a 32 años.**

- Como se denota en los resultados, el crecimiento de nuevos asentamientos tiende a seguir aumentando y, a grandes rasgos, las proyecciones tienen consistencia con la realidad supuesta, tanto por la percepción de los habitantes como de los observadores técnicos. Esto se confirma con el crecimiento poblacional proyectado del DMQ con base en información del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).
- Claramente se observa en el área estudiada, que las proyecciones del crecimiento urbano generadas en esta investigación coinciden con los patrones de crecimiento de su propio pasado, es decir, los asentamientos en la periferia en un primer momento se expanden de forma poco densa y desordenada, posteriormente se consolida y densifica para, finalmente, volver a expandirse de forma dispersa. Este hecho es muy característico de las periferias del sur y norte de la ciudad.
- Un complemento muy importante para lograr entender de forma más precisa el territorio y a su vez, transmitirlo al modelo, es el trabajo de campo a través de entrevistas a los habitantes y dueños de los predios y construcciones con el objetivo de conocer las intenciones de hábitat futura, así como caracterizar a leves rasgos su situación social y económica.

Conclusión final.

El crecimiento espacial de los asentamientos urbanos en el sector es inminente y parece incontenible. En el tiempo que se ha desarrollado esta investigación, desde 2018 hasta 2021, las nuevas construcciones, tanto asentadas en terrenos vacíos como en construcciones preexistentes, en su mayoría irregulares (sin permiso municipal), han aparecido muy rápidamente. En un efecto ilógico e inesperado, después del encierro por la pandemia Covid-19 en 2020, la proliferación de nuevas construcciones no se ha detenido, es decir, la construcción irregular y la expansión urbana en las periferias es una práctica relativamente fácil de ejecutar. Por lo tanto, implementar sistemas de monitoreo de la expansión urbana que incluyan la modelación de futuros escenarios, se convierte en una práctica indispensable que colaborará en la sostenibilidad del crecimiento espacial de la ciudad y sus parroquias aledañas. Además, permiten elaborar una planificación preventiva en la gestión del uso del suelo y en el ordenamiento territorial de las gobernaciones locales.

En el DMQ es urgente implementar estas prácticas, puesto que las parroquias alrededor de la ciudad de Quito experimentan un patrón de crecimiento espacial creciente, sobre todo aquellas más cercanas a la ciudad y las que colindan con límites administrativos de otros cantones; las cuales incluso ya están conurbando con otras localidades (sur de Quito, Alóag y Machachi; Valles de los Chillos).

Implementar sistemas computacionales automatizados y complementarlos con plataformas tecnológicas espaciales como Google Earth Engine o las pertenecientes a la NASA como recurso de alimentación continua de información, otorgará dinamismo funcional a los modelos urbanos.

De la misma forma, experimentar con AC en un ambiente de inteligencia artificial con aprendizaje de máquinas “*machine learning*” es el siguiente paso en la evolución de las metodologías del estudio de este tipo de fenómenos. Es decir que, a medida que los modelos son expuestos a nuevos datos, estos pueden adaptarse de forma independiente a través de algoritmos como los recogidos de la Tabla 7, bajo procesos automatizados e iterativos, que de forma autónoma aprenden a identificar patrones de crecimiento.

Por último, incluir este tipo de investigaciones como metodologías oficiales de medición y control en los gobiernos locales nacionales a través de la entidad municipal local competente, brindaría soporte a las instituciones que dependen de esta información, entre la cuales se encuentran principalmente empresas prestadoras de servicios básicos que gestionan recursos estratégicos no renovables.

CAPÍTULO 10

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Abramo, P. (2012). La ciudad com-fusa: Mercado y producción de la estructura urbana en las grandes metrópolis latinoamericanas. *Eure*, 38(114). <https://doi.org/10.4067/S0250-71612012000200002>
- Agterberg, F. P., & Bonham-Carter, G. F. (1990). Deriving weights of evidence from geoscience countour maps for the prediction of discrete events. *Proceedings of the XXII International Symposium AP-COM*.
- Aguilera, F. (2006). Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*.
- Aguilera, F., Gómez, D., & Cantergiani, C. (2010). Instrumentos de simulación prospectiva del crecimiento urbano. *Ciudad y Territorio Estudios Territorial, XLII(1)*.
- Aithal, B.H., Vinay, S., Ramachandra, T. (2014). Landscape dynamics modeling through integrated Markov, Fuzzy-AHP and cellular automata. In: Paper Presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS),. In: *Paper Presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International*.
- Al-Kheder, S., Wang, J., & J., S. (2007). Cellular automata urban growth model calibration with genetic algorithms. *Urban Remote Sensing Joint Event*.

- Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S., Al-Sharif, A. A. (n.d.).
Modellingurban growth evolution and land-use changes using GIS
based cellularautomata and SLEUTH models: the case of Sana'a
metropolitan city, Yemen. *Environ. Earth Sci.*, 70 (1),.
- Al-shalabi, M., Pradhan, B., Billa, L., Mansor, S., Althuwaynee, O. F.
(2013). Manifestation of remote sensing data in modeling urban
sprawl using theSLEUTH model and brute force calibration: a case
study of Sana'a city, Yemen.*J. Indian Soc. Remote Sens.*, 41 (2),(b).
- Alarcón, I. (2016, July 7). Se plantea una nueva clasificación del suelo.
Grupo EL COMERCIO.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/clasificacion-suelo-barrios-quito-rurales.html>
- Allen, P. M. (2014). Cities and Regions as Self-Organizing Systems. In
Taylor and Francis (Ed.), *Cities and Regions as Self-Organizing
Systems*. <https://doi.org/10.4324/9780203990018>
- Alonso, W. (2013). Location and Land Use. In *Location and Land Use*.
Harvard University Press.
<https://doi.org/10.4159/harvard.9780674730854>
- AM, G., I, S., R, C., & FJ, L. (2008). Análisis de los factores que
condicionan la expansión de un núcleo urbano costero mediante
simulación con autómatas celulares. *XII Congreso Internacional de
Ingeniería de Proyectos*.
- Amuzurrutia, D., Aguirre, C., & Sánchez, G. (2015). ¿Hacia dónde crecerá
la ciudad de San Luis Potosí (México) después de 2009?. *Eure*.
- Anas, A. (1978). Dynamics of Urban. In *Journal of Urban Economics* (Vol.
5, Issue 1). University College London.

- Andersson, A. E., Haag, G., Holmberg, I., Ledent, J., Munz, M., Pumain, D., Rabino, G., Reiner, R., Sarafoglou, N., Sonis, M., & Weidlick, W. (2012). *Interregional migration: dynamic theory and comparative analysis*. (W. Weidlich & G. Haag (eds.)). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-73049-8>
- Arroyo, P., Aguirre, C., & Ramírez, J. (2015). Cellular Automata: control improvements and immunity in the simulation of propagative phenomena. *Sistemas & Telemática*, 13.
- Arsanjani, J.J., Kainz, W., Mousivand, A. J. a. (2011). Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran. *Data Fusion. Int. J. Image*, 2 (4),.
- Ashby, W. R. (2011). Design for a brain; the origin of adaptive behavior. *Design for a Brain; the Origin of Adaptive Behavior*. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.7309>
- Avalos, A., Gómez, M., Aguilera, F., & Flores, F. (2019). Simulación del crecimiento urbano de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, México. *Estudios Geográficos*, 80(287). <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201938.018>
- Ávila, B. (2002). La Percepción Visual de los Objetos del Espacio Urbano. Análisis del Sector El Llano del Area Central de la Ciudad de Mérida. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70511244006>
- Ayala, E. (2008). Resumen de historia del Ecuador. In *Procesos* (Vol. 8, Issue Corporación Editora Nacional). <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/836/1/AYALAE->

CON0001-RESUMEN.pdf

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018a). *¿Qué es una ciudad? Un concepto con muchas definiciones*. Blog de La División de Vivienda y Desarrollo Urbano.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018b). *Informe de sostenibilidad 2018*. <https://www.iadb.org/es/noticias/nuevo-informe-de-sostenibilidad-del-bid-presenta-temas-de-ciudades-en-america-latina>
- Barredo, I., Demicheli, L., Lavalle, C., Kasanko, M., & McCormick, N. (2004). Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria Jose" I Barredo, Luca Demicheli, Carlo Lavalle, Marjo Kasanko, Niall McCormick 2004. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32. <http://www.envplan.com/epb/fulltext/b31/b29103.pdf>
- Barredo, J., Kasanko, M., McCormick, N., & Lavalle, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: Simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 64(3). [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00218-9](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00218-9)
- Barreira González, P., Aguilera Benavente, F., & Gómez Delgado, M. (2015). Propuesta de validación parcial de modelos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares mediante análisis de sensibilidad. *Ciencias Espaciales*, 8(2). <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2090>
- Barreira, P., Aguilera, F., & Gómez, M. (2015). Propuesta de validación parcial de modelos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares mediante análisis de sensibilidad. *Ciencias Espaciales*, 8(2). <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2090>
- Batty, M. (1976). *Urban Modelling: Algorithms, Calibration, Predictions*.

Cambridge, Cambridge University Press.

- Batty, M. (1997). EBSCOhost: Cellular automata and urban form: A primer. *Journal of the American Planning Association*.
<http://biblioteca.uprrp.edu:2054/ehost/detail?vid=2&hid=14&sid=e583b76e-27c6-450a-a04a-61cf20dc99c1%40sessionmgr13&bdata=JnNpdGU9ZWwhvc3QtbGl2ZQ%3D%3D#db=f5h&AN=9705083821>
- Batty, M. (2012). Building a science of cities. *Cities*, 29(SUPPL. 1).
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.11.008>
- Batty, M. (2014). Can it happen again? Planning support, Lee's requiem and the rise of the smart cities movement. In *Environment and Planning B: Planning and Design* (Vol. 41, Issue 1997). Environment and Planning B: Planning and Design. <https://doi.org/10.1068/b4103c>
- Batty, M. and P. L. (1997). The fractal city. *Architectural Design*.
<https://doi.org/0124555705,9780124555709>
- Batty, M., & Longley, P. A. (1994). *Fractal cities: a geometry of form and function*. Academic press.
- Batty, M., & Xie, Y. (1996). "Possible cellular automata". *Artificial Worlds and Urban Studies*.
- Batty, Michael, Xie, Y., & Sun, Z. (1999). The dynamics of urban sprawl. *Centre for Advanced Spatial Analysis*, 15, 1–39.
<http://www.casa.ucl.ac.ukhttp://www.casa.ucl.ac.uk/sprawl.pdf>
- Benavente, F. A., Montes, L. M. V., & Sendra, J. B. (2010). Simulación de escenarios futuros en la aglomeración urbana de Granada a través de modelos basados en autómatas celulares. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 54.

- Benenson, I., & Torrens, P. (2004). *Automata-based Modeling of Urban Phenomena* (University of Utah (ed.)). John Wiley & Sons.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470020997.fmatter/summary>
- Beni, G., & Wang, J. (1993). Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems. *Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics?*, 703–712. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58069-7_38
- Berry, B. J. I., Baskin, C. W., & Christaller, W. (2006). Central Places in Southern Germany. In *Economic Geography* (Vol. 43, Issue 3). Prentice Hall. <https://doi.org/10.2307/143299>
- BID, B. interamericano de desarrollo. (2011). I Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe. In *Sostenibilidad urbana en América Latina y el Caribe*.
- Bihanta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., Gholamalifard, M. (2014). Using the SLEUTHurban growth model to simulate future urban expansion of the Isfahanmetropolitan area, Iran. *J. Indian Soc. Remote Sens.*
- Bognanni, F. (2014). Entre masones y fractales. Un ensayo sobre la forma de la Ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. In *Tiempo y Espacio* (Vol. 0, Issue 28). Tiempo y Espacio.
- Bonham-Carter, G. (2016). Geographic Information Systems for Geoscientists. In *Geographic Information Systems for Geoscientists*. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-03864-9>
- Bosque, J., & Moreno, A. (2004). *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. RAMA.
- Bosque, Joaquín. (2005). Espacio geográfico y ciencias sociales. Nuevas propuestas para el estudio del territorio. *Investigaciones Regionales*,

núm. 6(1695–7253), 203–221.

- Brand, P. (2011). La ciudad latinoamericana en el siglo XXI. Globalización, neoliberalismo, planeación. Por. In *Territorios - Revista de Estudios Regionales y Urbanos* (Issue 22).
- Brezzi, M., Piacentini, M., Rosina, K., & Sanchez-Serra, D. (2012). Redefining urban areas in OECD countries. *Redefining “Urban”: A New Way to Measure Metropolitan Areas*, 9789264174. <https://doi.org/10.1787/9789264174108-4-en>
- Briassoulis, H. (2000). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. *The Web Book of Regional Science*. <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>
- Burton, I. (1963). *The quantitative revolution and theoretical geography*.
- Buzai, G. (2007). Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de cadenas de markov y autómatas celulares. *Panorama de La Ecología de Paisajes En Argentina y Países Sudamericanos*. <http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/articulos/2007-Buzai-INTA.pdf>
- Cacciari, M. (2010). *La ciudad. Traducido por Moisés Puente*. Editorial Gustavo Gili.
- Capel, H. (2002). *La morfología de las ciudades*. (E. del S. S.A. (ed.); Tomo I: So).
- Carrión, D. (2002). *La tierra vacante en Quito : estrategias de ‘ engorde ’ y ausencia de políticas de suelo*. Informe de Investigación, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge.
- Carrión, F., & Erazo, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de

centros y periferias*. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*,
41 (3). <https://doi.org/10.4000/bifea.361>

Carrión, Fernando. (2001). La ciudad construida: Unbanismo en américa
latina. In *Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales*.
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43650.pdf>

Carvajal, A. (2019, January). Quito se convirtió en la ciudad más poblada
del Ecuador con más de 2,7 millones de habitantes en el 2018 Este
contenido ha sido publicado originalmente por Diario EL COMERCIO
en la siguiente dirección:
<https://www.elcomercio.com/actualidad/orden-movilidad>. *El
Comercio*. [https://www.elcomercio.com/actualidad/orden-movilidad-
desafios-candidatos-alcaldia.html](https://www.elcomercio.com/actualidad/orden-movilidad-desafios-candidatos-alcaldia.html)

CEPAL. (2020). *Publicación: Gobiernos Autónomos Descentralizados de
Ecuador*. Observatorio Regional de Planificación Para El Desarrollo
de América Latina y El Caribe.
[https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/instituciones/gobiernos-
autonomos-descentralizados-de-ecuador](https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/instituciones/gobiernos-autonomos-descentralizados-de-ecuador)

Cerdá, J., Gadea, R., Mora, M., & Sebastián, A. (1970). El papel de los
autómatas celulares como ejemplo de sistemas complejos. *Universidad
Politécnica de Valencia*.

Chapin, F., & Weiss, S. (1965). Some Input Refinements for a Residential
Model. *Institute for Research in Social Science, July*.
<http://trid.trb.org/view.aspx?id=131127>

Chowdhury, P.R., Maithani, S. (2014). Modelling urban growth in the
Indo-Gangeticplain using nighttime OLS data and cellular automata.
Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 33,.

- Church, A., & Turing, A. M. (2006). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. In *The Journal of Symbolic Logic* (Vol. 2, Issue 1). Proceedings of the London mathematical society. <https://doi.org/10.2307/2268810>
- Cohen, J., Cohen, P., West, S., & Aiken, L. (2013). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (Tercera). Lawrence Erlbaum Associates.
- Concepts and Models of a Quantitative Sociology—The Dynamics of Interacting Populations (W. Weidlich And G. Haag). (1986). In *SIAM Review* (Vol. 28, Issue 2). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1137/1028075>
- Conway, J. H. (1970). Mathematical Games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life." *Scientific American*, 223.
- Couclelis, H. (1996). From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. *Artificial Worlds and Urban Studies*. <https://doi.org/https://doi-org.sabidi.urv.cat/10.1068/b240165>
- De Mattos, C. A. (2010). Globalization and metropolitan metamorphosis in Latin America. From the city towards a widespread urban. In *Revista de Geografía Norte Grande* (Issue 47). Revista de geografía Norte Grande. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000300005>
- Deleuze, G., & Guattari, F. (1980). *RIZOMA (MIL MESETAS 1980)*.
- Dendrinis, D., & Sonis, M. (2012). *Chaos and socio-spatial dynamics*. Springer Science & Business Media.
- Dezhkam, S., Amiri, B.J., Darvishsefat, A.A., Sakieh, Y. (2014). Simulating the urbangrowth dimensions and scenario prediction

through sleuth model: a casestudy of Rasht County, Guilan, Iran.
GeoJournal,.

Diario EL COMERCIO. (2019). *La informalidad agrava el riesgo en laderas de Quito*. Diario EL COMERCIO.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/informalidad-riesgo-laderas-quito-deslaves.html>

Dietzel, C., Clarke, K. C. (2004). Spatial differences in multi-resolution urban automata modeling. *Trans. GIS 8 (4)*.

DMQ. (2015). *Diagnóstico Estratégico - Eje Territorial*.
http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Sesiones del Concejo/2015/Sesión Extraordinaria 2015-02-13/PMDOT 2015-2025/Volumen I/6. Diagnóstico Territorial.pdf

Downey, G., & Mumford, L. (1962). The City in History: Its Origins, Its Transformations, and Its Prospects. *The Classical World*, 55(1).
<https://doi.org/10.2307/4344667>

Dragicevic, S. (2004). Coupling fuzzy sets theory and GIS-based cellular automata for land-use change modeling. *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS, 1*, 203–207. <https://doi.org/10.1109/nafips.2004.1336277>

Dubos-Paillard, E., Guermont, Y., & Langlois, P. (2003). Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire. Le modèle SpaCelle. *Espace Geographique*, 32(4). <https://doi.org/10.3917/eg.324.0357>

Durán, G., Martí, M., & Mérida, J. (2016). Crecimiento, segregación y mecanismos de desplazamiento en el periurbano de Quito. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, 56.
<https://doi.org/10.17141/iconos.56.2016.2150>

Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y
Descentralización [COOTAD]., (2010).

EEA. (2006). *Urban Sprawl in Europe - The Ignored Challenge*. European
Environment Agency (Issue 10). <http://eprints.uwe.ac.uk/10295/>

EPN, I. G. (2021). *GUAGUA PICHINCHA*.
<https://www.igepn.edu.ec/guagua-pichincha>

Espinoza-Mendoza, V. (2016). Dinamica Ego: Una herramienta gratuita
para modelar y brindar soporte en el análisis de CCUS. *Colegio de
Geógrafos Del Perú*, 3(December 2016).
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0043>

ESRI. (2022). *Análisis Espacial y Data Science*. <https://www.esri.es/es-es/arcgis/productos/spatial-analytics-data-science/capabilities/spatial-analysis>

Evans, A. (1997). Limitaciones al crecimiento urbano “Cinturones Verdes”
y economía. In *Centro de Estudios Públicos* (Vol. 67, Issue 67).
<https://doi.org/10.4067/S0250-71612017000100008>

Feng, H., Liu, H. a. (2012). Scenario prediction of urban growth based on
the SLEUTHmodel. *Paper Presented at the Advanced Technology in
Teaching-Proceedings of the 2009 3rd International Conference on
Teaching and Computational Science*.

Fernández, S., & Rangel, J. (2014). Autómatas Celulares y su Aplicación
en Computación. *VIII Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica
y Mecatrónica*, 14–21.
<https://www.researchgate.net/publication/267511537>

Forrester, J. W. (1969). *Urban dynamics*. IMR; Industrial Management.

- Forrester, Jay Wright, & Senge, P. M. (1980). Tests for building confidence in system dynamics models. In M. I. of Technology (Ed.), *TIMS Studies in the Management Sciences* (Vol. 14, Issue 1). System dynamics, TIMS studies in management.
- Garau, C. (2014). Smart paths for advanced management of cultural heritage. In *Regional Studies, Regional Science* (Vol. 1, Issue 1). Regional Science. <https://doi.org/10.1080/21681376.2014.973439>
- Garrett, J. (1994). Where and why artificial neural networks are applicable in civil engineering. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 8(2), 129–130.
- GIZ-Ecuador. (2016). *GIZ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*. Agencia de La GIZ En Ecuador. <https://www.giz.de/en/worldwide/28451.html>
- Goldner, W. (1968). Projective Land Use Model-PLUM. *BATSC Technical Report 219*, 219.
- Gómez, D. (2011). *Descripción y Aplicaciones de los Automatas Celulares*.
- Goodacre, A., Bonham-Carter, G., Agterberg, F., & Wright, D. (1993). A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics*.
- Gordon, P., & Richardson, H. W. (1997). Are compact cities a desirable planning goal? *Journal of the American Planning Association*, 63(1). <https://doi.org/10.1080/01944369708975727>
- Hagen-Zanker, A. (2009). An improved Fuzzy Kappa statistic that accounts for spatial autocorrelation. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(1), 61-.

- Hägerstrand, T., & Hagerstrand, T. (2006). The Computer and the Geographer. In *Transactions of the Institute of British Geographers* (Issue 42). Transactions of the Institute of British Geographers.
<https://doi.org/10.2307/621369>
- Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Planning Association*, 25(2).
<https://doi.org/10.1080/01944365908978307>
- Harris, B. (1994). The real issues concerning leas requiem. *Journal of the American Planning Association*, 4.
<https://doi.org/10.1068/b4103c>
- Hasegawa, S. F., & Takada, T. (2019). Probability of deriving a yearly transition probability matrix for land-use dynamics. *Sustainability (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226355>
- Henríquez, C., Azócar, G., & Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: Aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36(36). <https://doi.org/10.4067/s0718-34022006000200004>
- Heppenstall, A., Crooks, A., See, L., & Batty, M. (2011). *Agent-based models of geographical systems*. Springer Science & Business Media.
https://doi.org/10.1007/978-90-481-8927-4_2
- Hernández, L., & Martín del Rey, A. (2002). Aplicaciones de los autómatas celulares a la generación de bits. In *Instituto de Física Aplicada, C.S.I.C.* (Vol. 21).
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/21270/1/ACgenbits.pdf>
- Hesterberg, T. (2004). Introduction to Stochastic Search and Optimization:

Estimation, Simulation, and Control. *Technometrics*, 46(3), 368–369.

<https://doi.org/10.1198/tech.2004.s206>

Holland, J. (2019). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*.

Adaptation in Natural and Artificial Systems.

<https://doi.org/10.7551/mitpress/1090.001.0001>

Holland, John. (1999). *Emergence: From chaos to order*. Helix Books.

Huamani, R. (2010). *Generación de escenarios de crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Cusco para el periodo 2010-2020*
Generación de escenarios de crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Cusco para el periodo 2010-.

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2018). *Generación de información geoespacial a escala 1:5.000 para la determinación de la aptitud física del territorio y desarrollo urbano mediante el uso de geotecnologías*.

<http://www.geoportaligm.gob.ec/geoinformacion/index-alt3.html>

Isard, W. (1966). *Methods of regional analysis*. The Massachusetts Institute of Technology.

Jackson, K. T. (1985). *Crabgrass Frontier: The Suburbanization of the United States*. Oxford University Press.

Jantz, C., Goetz, S., & Shelley, M. (2004). Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area. *Environment and Planning B: Planning and Design*.

<https://doi.org/https://doi-org.sabidi.urv.cat/10.1068/b2983>

Jaramillo, J., & Rosero, W. (1996). *Mercado del suelo en Quito. Quito, Dirección general de Planificación*.

- Jegadish Kumar, K. J., Chenna Kesava Reddy, K., & Salivahanan, S. (2011). Novel and Efficient Cellular Automata Based Symmetric Key Encryption Algorithm for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Applications*, 13(4).
<https://doi.org/10.5120/1767-2424>
- JRC - Joint Research Centre, E. C. for R. S. A. (1994). *Modelling deforestation processes – a review. Research Report No.1. Luxembourg: ECSC-EC-EAEC.*
- Juarez, G. (2006). *Introduccion a la simulacion de procesos con automata celular.*
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel–Yan, J. (2008). *The changing metabolism of cities.* MIT Press. <https://doi.org/https://doi-org.sabidi.urv.cat/10.1162/jie.2007.1107>
- Korcelli, P. (1982). Migration and Urban Change. *International Regional Science Review*, 7(2). <https://doi.org/10.1177/016001768200700206>
- Krugman, P. (1993). First Nature, Second Nature, and Metropolitan Location. *Journal of Regional Science*, 33(2).
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1993.tb00217.x>
- La Hora. (2020). Invasiones generan riñas constantes en Calderón. *La Hora*. <https://lahora.com.ec/quito/noticia/1102311544/invasiones-generan-rinas-constantes-en-calderon>
- Lahoz, R. (2010). *Bioinformática: Simulación, vida artificial e inteligencia artificial.* Díaz de Santos.
- Lahti, J. (2008). Modelling Urban Growth Using Cellular Automata: A case study of Sydney, Australia. In *Transport*.
http://www.itc.nl/library/papers_2008/msc/gem/lahti.pdf

- Lamparte, A., Santé, I., Reyes, F., & Crecente, R. (2013). El modelo de autómatas celulares: aplicación para el estudio de patrones de crecimiento urbano sostenible. *Revista Geoespacial*, 10.
- Lattes, A. E. (1995). 83839.Pdf. In *CEPAL: División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos*.
http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/1/34411/LCG.164_p7.pdf
- Lee, D. B. (1973). Requiem for Large-Scale Models. *Journal of the American Planning Association*, 39(3).
<https://doi.org/10.1080/01944367308977851>
- Lee, T., Wu, C., & Wei, H. (2008). KBSLUA: A knowledge-based system applied in river land use assessment. *Expert Systems with Applications*, 34(2), 889–899.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.10.038>
- Li, X., & Yeh, A. G. (2001). Calibration of cellular automata by using neural networks for the simulation of complex urban systems. *Environment and Planning A*, 33(8). <https://doi.org/10.1068/a33210>
- Liao, J., Tang, L., Shao, G., Su, X., Chen, D., Xu, T. (2016). Incorporation of extended neighborhood mechanisms and its impact on urban land-use cellular automata simulations. *Environ. Model. Softw.*, 75.
- Linares, S., & Picone, N. (2018). Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de Información Geográfica y Autómatas Celulares. Caso de estudio: Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*.
- Linares, S. (2001). Aportes de la ecología urbana y modelos neoclásicos para analizar la diferenciación socioespacial en ciudades medias

bonaerenses: Pergamino, Olavarría y Tandil. *Huellas*.

Linares, S., del Fresno, M., & Meliendrez, M. (2014a). *Expansión urbana mediante Tecnologías de la Información Geográfica y Modelos Emergentes: Aplicación a la ciudad Tandil (Buenos Aires, Argentina)*.
<https://www.graficasumma.com.ar/sc/descargas/n191.pdf>

Linares, S., del Fresno, M., & Meliendrez, M. (2014b). *Expansión urbana mediante Tecnologías de la Información Geográfica y Modelos Emergentes: Aplicación a la ciudad Tandil (Buenos Aires, Argentina)*.
<https://www.graficasumma.com.ar/sc/descargas/n191.pdf>

Loaiza, C., & Tapia, J. (2017). *Plan de investigación sobre la conservación e integración del agua dentro de la ciudad de Quito, aplicado en el barrio Mariscal Sucre*. Universidad Central del Ecuador.

Longley, P., & Batty, M. (2003). *Advanced spatial analysis: the CASA book of GIS*. ESRI, Inc..

Lowry, I. (1964). *A model of metropolis*. Santa Monica.

Lowry, I. (1965). A short course in model design. *Journal of the American Institute of Planners*, 31(2). <https://doi.org/01944366508978159>

Maithani, S. (2010). Cellular Automata Based Model of Urban Spatial Growth. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(4), 604–610. <https://doi.org/10.1007/s12524-010-0053-3>

Maldonado, C. (2014). El (Des) Orden De Las Ciudades (The (Dis) Order of Cities). *Ediciones USTA*, 46, 18.
https://elpais.com/cultura/2016/03/22/actualidad/1458658689_027272.html

Martínez, A. (2020). *Análisis del crecimiento disperso y las relaciones*

centro-periferia en la ciudad de Quito (1980-2010).

<https://doi.org/10.4995/isufh2019.2020.10028>

Maruyama, Y., & Thapa, R. (2011). *Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process.*

Mas, J. F., & Flamenco, A. (2011). *Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México.*

Mas, J.-F., & Flamenco Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *Geotropico*, 5(1).

Matthews, B., G., N., R., A., Polhill, G., & Gotts., M. (2007). Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 22, 1447–1459.

Matthews, K. (2001). Applying Genetic Algorithms to multi-objective land-use planning. In *October* (Issue October). Aberdeen.

MDMQ. (2012). Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial. In *Mdmq*.

Mendoza, A. (2011). *Agrópolis: síntesis regional, urbano-rural*. Revista De La Universidad De La Salle.

<https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ls/article/view/759>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. In *Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos*.

http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf

- Miranda, H. (2017). Morfología y regulación urbana en la transformación de la ciudad. El caso de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. *Revistarquis*, 6(2). <https://doi.org/10.15517/ra.v6i2.30620>
- Mishra, V.N., Rai, P. K. (2016). A remote sensing aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar). *India. Arabian J. Geosci.*, 9 (4).
- Mitsova, D., Shuster, W., Wang, X. (2011). A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landsc. Urban Plan.*, 99 (2),.
- Montoya, J. W. (2004). Sistemas urbanos en América Latina: Globalización y urbanización. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 0(13).
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10143>
- Morelli, F. (2015). ¿Regiones o ciudades-regionales? Una revisión del concepto de región: el caso de la Audiencia de Quito, 1765-1089. *Procesos. Revista Ecuatoriana de Historia*, 1(12).
<https://doi.org/10.29078/rp.v1i12.347>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Diagnóstico del Territorio del DMQ*. <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticoterritorio.pdf>
- Muñoz, M. (2017). *DESARROLLO ORIENTADO AL TRANSPORTE ¿CÓMO GENERAR COMPACIDAD A TRAVÉS DEL METRO DE QUITO?*
- Muñoz, R. (2013). Música con Autómatas Celulares. *Departamento de Matemáticas*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75058>

- No Oguz, H., Klein, A., Srinivasan, R. (2007). Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Houston–Galveston–. *Brazoria CMSA. Res. J. Soc. Sci. 2 (1)*,.
- Oh, K., & Jeong, Y. (2002). The usefulness of the GIS-fuzzy set approach in evaluating the urban residential environment. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29(4), 589–606.
<https://doi.org/10.1068/b2779>
- ONU. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Oosterhaven, J. (2002). Complex spatial systems : The modelling foundations of urban and regional analysis. In *Regional Studies* (Vol. 36, Issue 4). London and Harlow, UK: Pearson Education.
- Openshaw, S., & Openshaw, C. (1997). Artificial intelligence in geography. In *John Wiley & Sons* (Vol. 4).
- Orishimo, I. (1987). *An approach to urban dynamics*.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1987.tb00125.x>
- Oyugi, M. O., & K' Akumu, O. A. (2007). Land use management challenges for the city of Nairobi. *Urban Forum*, 18(1).
<https://doi.org/10.1007/BF02681232>
- Pacheco, J. (2015). *Ciudades , Autómatas Celulares y Sistemas Complejos. Evaluación de un Modelo Dinámico de Cambio de Usos de Suelo Urbano en Madrid*.
- Pascual Rosa, V., Aguilera Benavente, F., Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., & Bosque Sendra, J. (2010). Simulación de modelos de crecimiento urbano: métodos de comparación con los mapas reales. *La Información Geográfica Al Servicio de Los Ciudadanos [Recurso*

Electrónico]: De Lo Global a Lo Local, 1.

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=3396330>

- Petrov, L., Lavalle, C., & Kasanko, M. (2009). *Urban land use scenarios for a tourist region in Europe*. *Landscape and Urban Planning*.
- Pijanowski, C., Brown, G., Shellito, A., & Manik, A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: A Land Transformation Model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 553–575. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00015-1)
- Pinto, N. N. (2006). A microsimulation approach for modelling the growth of small urban areas. In *Department of Civil Engineering*. University of Porto, Portugal.
- Polidori, M., Saraiva, M., Peres, O., Toralles, C., & Tomiello, F. (2015). Los bordes de la ciudad y la simulación del crecimiento urbano con autómatas celulares. *Ciencias Espaciales*, 8(2). <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2087>
- Portugali, J., & Benenson, I. (2006). Artificial Planning Experience by Means of a Heuristic Cell-Space Model: Simulating International Migration in the Urban Process. In *Environment and Planning A: Economy and Space* (Vol. 27, Issue 10). *Environment and Planning A*. <https://doi.org/10.1068/a271647>
- Portugali, J., Benenson, I., & Omer, I. (1997). Spatial cognitive dissonance and sociospatial emergence in a self-organizing city. In *Environment and Planning B: Planning and Design* (Vol. 24, Issue 2). <https://doi.org/10.1068/b240263>
- Prieto, S. (2007). La ciudad ideal. In *Ars Medica. Revista de Humanidades* (Vol. 2). *Ars Medica*.

file:///C:/Users/Usuario/Desktop/La_ciudad_ideal.pdf

Ordenanza Metropolitana 127, Pub. L. No. 127 (2016).

http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Comisiones del Concejo/Use de Suelo/2018/2018-01-08/9. Ordenanza Reformatoria Ordenanza No. 127/Ordenanza Reformatoria Odenanza No. 127.pdf

Reynoso, C. (2010). *Análisis y diseño de la ciudad compleja: perspectivas desde la antropología urbana*. Universidad de Buenos Aires.

http://ccuc.cbuc.cat/record=b4597176~S23*cat

Reynoso Santos, R., Valdez Lazalde, J., Escalona Maurice, M., de los Santos Posadas, H., & Pérez Hernández, M. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1).

Rodrigues, H. O., Soares-Filho, B. S., & Costa, W. L. D. S. (2007). Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.

Rojas-Vollalobos, H. L., & González León-Manuel Octavio. (2016). *Predicción y modelación del crecimiento urbano de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua del año 2010, mediante autómatas celulares (SLEUTH)*. January 2013.

Rovira, A., & Lavanderos, L. (2008). Generación de escenarios futuros para la región de Aisen (Chile) aplicando Automata Celular. *Revista Geográfica Dde Valparaiso (En Línea)*, 41.

Rullan Salamanca, O. (2012). Urbanismo expansivo en el Estado Español: de la utopía a la realidad. *Congreso de Geógrafos Españoles*.

Sahagún-Sánchez, F., Reyes-Hernández, H., Flores, J., & Vargas, L. (2011). Modelización de escenarios de cambio potencial en la

- vegetación y el uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí. *Journal of Latin American Geography*.
- Salinas, A. (2011). *Introducción a La Vida Artificial Y Autómatas*. 1–20.
- Sancho, F. (2016). *Autómatas Celulares*.
<http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=66>
- Santos, M., & Maurel, J. B. (1990). *Por una geografía nueva*. Espasa-Calpa S.A.
- Scholz, B., Rodríguez, J. M., Giacometti, J. R. M., Meneses, P. A., Valarezo, A. V. R., & Cando, P. A. C. (2015). *Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III*.
https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf
- Schwirian, K. P., Dendrinis, D. S., & Mullally, H. (2006). Urban Evolution: Studies in the Mathematical Ecology of Cities. In *Contemporary Sociology* (Vol. 15, Issue 4). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.2307/2069362>
- Sell, P. (1985). Expert systems—A practical introduction. *Camelot Press*. *Halsted Press*.
- Semoloni, F. (2006). Optimization and control of the urban spatial dynamics. *Complexus*, 2(3–4), 204–216.
<https://doi.org/10.1159/000093691>
- Shmelev, S. E., & Shmeleva, I. A. (2009). Sustainable cities: problems of integrated interdisciplinary research. *International Journal of Sustainable Development*, 12(1).
<https://doi.org/10.1504/ijsd.2009.027526>

- Silva, E. (2004). The DNA of our regions: Artificial intelligence in regional planning. *Futures*, 36(10), 1077–1094.
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2004.03.014>
- Silva, E. A., & Clarke, K. C. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6).
[https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00014-X)
- Soares-Filho, B. S., Rodrigues, H. O., & Costa, W. L. (2009). Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO. *Instituto de Geociências - Centro de Sensoriamento Remoto, October*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5179.4641>
- Solá-Morales, M. (1997). *Las formas de crecimiento urbano*.
<http://books.google.com.co/books?id=OE1h6qsjPfAC>
- Sun, H., Forsythe, W., Waters, N. (2007). Modeling urban land use change and urban sprawl: Calgary, Alberta, Canada. *Netw. Spat. Econ.* 7 (4).
- Takeyama, M. (1996). Geocellular: A General Platform for Dynamic Spatial Simulation. *Artificial Worlds and Urban Studies*.
- Taylor, R., Aguilera, M., & Quintanal, H. (2007). Antropología del desierto: paisaje, naturaleza y sociedad. *UNAM*.
- te Brömmelstroet, M., Pelzer, P., & Geertman, S. (2014). Forty years after Lee's Requiem: Are we beyond the seven sins? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(3).
<https://doi.org/10.1068/b4103c>
- Tien, F. C., Hsieh, K. H., Cheng, C. Y., & Liu, C. S. (2007). Using hybrid genetic algorithms to solve discrete location allocation problems with rectilinear distance. *Journal of the Chinese Institute of Industrial*

- Engineers*, 24(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/10170660709509017>
- Tobler, W. R. (1995). Migration: Ravenstein, Thorntwaite, and beyond. *Urban Geography*.
- Torrens, P. M., & Alberti, M. (2000). Measuring sprawl. *Centre for Advanced Spatial Analysis*. <https://doi.org/1467-1298>
- Torres, G., & Hernandez, G. (1994). *Autómatas celulares estocásticos*.
- Trentin, G., Isabel, M., & Freitas, C. De. (2010). Autômato Celular Na Simulação De Cenários Para O Município De Americana-Sp. *Oecologia Brasiliensis*, 12(4).
- Ulloa-Espíndola, R., & Pérez-Albert, Y. (2022). Validación de un modelo de predicción del crecimiento urbano en Quito (Ecuador) construido mediante pesos de evidencia y autómatas celulares. *Eure*, 48(144). <https://doi.org/10.7764/eure.48.144.06>
- Ulloa-Espíndola, R., & Martín-Fernández, S. (2021). Simulation and analysis of land use changes applying cellular automata in the south of quito and the machachi valley, province of pichincha, ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/su13179525>
- Val, E. (2012). *Italia descubre más de un millón de casas fantasma*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/internacional/20120308/54265416013/italia-descubre-millon-casas-fantasma.html>
- Valera Lozano, A., Añó Vidal, C., & Sánchez Díaz, J. (2011). Cincuenta años (1956-2006) de crecimiento urbano y degradación de suelos por sellado antropogénico en el término municipal de Valencia [Universidad de Valencia.]. In *Anales de Geografía de la Universidad*

Complutense (Vol. 31, Issue 2).

https://doi.org/10.5209/rev_aguc.2011.v31.n2.37016

Vega y León, S., Padilla Arias, A., Irigoyen Castillo, J. F., Cepeda Dovala, J. L., Andrade Narváez, J., Carballo Cruz, E., Bazant, J., Ortiz Flores, E., Mercado Moraga, Á., Hastings, I., Pacheco Martínez, J. A., Andrade Narváez, J., & Hagerman, O. (2011). *La vivienda popular en México. Retos para el siglo XXI*.

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/50502987/vivienda_popular.pdf?response-content-disposition=inline%253Bfilename%253DLa_vivienda_popular_en_Mexico._Retos_par.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAI3DPMSUS%252F202

White, R., & Engelen, G. (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2). <https://doi.org/10.1068/b240235>

Whitehead, A. (1968). *Modes of Thought*. Wellesley College, Massachusetts: Free Press/Macmillan.

Wienes, N., & Rosenblueth, A. (1946). *Mente y cerebro una filosofía de ciencia seguido de el método científico* (X. Siglo (ed.)).

Wolfram, S. (2002). A New Kind of Science. Wolfram Media. In *Inc., Champaign, IL*.

Wrigley, E. A. (1965). Changes in the Philosophy of Geography. *Frontiers in Geographical Teaching. The Medingley Lectures for 1963*.

Wu, N., & Silva, E. A. (2010). Artificial intelligence solutions for urban land dynamics: A review. *Journal of Planning Literature*, 24(3), 246–265. <https://doi.org/10.1177/0885412210361571>

- Ye, B., Bai, Z. (2007). Simulating Land Use/Cover Changes of Nenjiang County Based on CA-Markov Model. *Computer And Computing Technologies In Agriculture, Vol. I. Springer, Pp.*
- Yuan, F. (2010). Urban growth monitoring and projection using remote sensing and geographic information systems: a case study in the Twin Cities metropolitan area Minnesota. *Geocarto Int.*, 25 (3),.
- Zambrano, F., & Bernard, O. (1993). Ciudad y territorio. In *Ciudad y territorio*. Institut français d'études andines.
<https://doi.org/10.4000/books.ifea.2083>
- Zarza, D. (2011). Una interpretación fractal de la forma de la ciudad. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 13.
- Zhang, Q., Ban, Y., Liu, J., Hu, Y. (2011). Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China Computers. *Environ. UrbanSyst.*, 35 (2),.
- Zhang, Y., Yang, Z., & Yu, X. (2009). Ecological network and emergy analysis of urban metabolic systems: Model development, and a case study of four Chinese cities. *Ecological Modelling*. http://ac.els-cdn.com/S0304380009000842/1-s2.0-S0304380009000842-main.pdf?_tid=0099d49e-6b69-11e5-8fa0-00000aab0f01&acdnat=1444053623_4d963e961d4cac5d107e71a0d0577405

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEPONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

11. ANEXOS.

Anexos A. Distribución entrevistas realizadas a los habitantes en el área de estudio.



Anexos B. Entrevistas realizadas a los habitantes en el área de estudio.

Entrevista 1

CALDERÓN /LA PLANADA DE SAN FRANCISCO	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Latacunga
Cuántos miembros son del núcleo familiar	6
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, 1 más
¿Cuál es su rol en la familia?	Madre
¿Cuál es su actividad económica?	Empleada Doméstica
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Primaria
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Madre de familia
¿Cuál es su medio de movilización?,	Transporte público
¿Cómo conoció el lugar?	Por conocidos y amigos
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	hasta 5 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Compra, venta
¿Cuántas personas herederas son?	
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	No
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, por intermediarios
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	No
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí, pero hay lugares mejores
Como percibe la seguridad del sector	Baja, peligroso
¿Tiene actividad agrícola?	No

¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Agua potable, y luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	7
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Exclusión Social
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 2

CALDERÓN BELLAVISTA ETAPA III	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	4
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, 3 más
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Conductor Chofer
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Secundaria/Bachillerato
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	1
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Vehículo propio Familiares viven varios años en el sector
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	más de 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, ampliación/modificación horizontal
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen construtoras interesadas en construir?	Sí, he estado en contacto
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Precios elevados
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí
Tienen cerca paradas de transporte público.	Sí
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí
Como percibe la seguridad del sector	Baja, peligroso

¿Tiene actividad agrícola?	Sí
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	Sí, animales pequeños
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Sí, agua potable, alcantarillado, internet, luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	En trámite
¿Cuántos dormitorios?	4
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	3
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	15
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Falta de atención municipal
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	Sí
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	Sí

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 3

CALDERÓN

¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	4
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, más de 3
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Trasporte de material de construcción
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Secundaria/Bachillerato
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Padre de familia
¿Cuál es su medio de movilización?,	Vehículo propio
¿Cómo conoció el lugar?	Herencia Familiar
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	más de 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, Otra construcción
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí, he estado en contacto

¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí
Tienen cerca paradas de transporte público.	Sí
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí
Como percibe la seguridad del sector	Normal
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica, Agua potable, Alcantarillado
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	3
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	2
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	8
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Falta de atención municipal
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	Sí

**¿Cree que es un buen lugar
para criar una familia?**

Sí



Entrevista 4

COMITE PRO MEJORAS BARRIO SAN VICENTE DE CALDERÓN	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	5
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	Sí
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Obrero, plomero
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Primaria
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Transporte público Conocidos y amigos
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	hasta 5 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Cuidador (Huachiman)
¿Cuántas personas herederas son?	1
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	No
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen construtoras interesadas en construir?	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Buen precio
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Si
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	No

Como percibe la seguridad del sector	Baja, peligroso
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Mediagua
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz Eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	En tramite
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	3
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Exclusión Social
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 5

CALDERÓN / SAN JUAN DE CALDERÓN / CUSNIJEROS	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	4
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	Sí
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	plomero
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Secundaria/Bachillerato
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Vehículo propio Conocidos y familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, Otra construcción
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen construtoras interesadas en construir?	Sí, he estado en contacto
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	No
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí
Como percibe la seguridad del sector	Baja, peligroso

¿Tiene actividad agrícola?	Sí
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Mediagua
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	En trámite
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	5
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Falta de atención municipal
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 6

CALDERÓN / BARRIO EDEN DE SAN JUAN	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Ibarra
Cuántos miembros son del núcleo familiar	4
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	Sí
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Reciclador
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Primaria
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	1
¿Quién provee el hogar?	Padre de familia
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Transporte público Familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, otro piso
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen construtoras interesadas en construir?	Sí he visto
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Buen precio
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí, pero hay lugares mejores
Como percibe la seguridad del sector	Normal

¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Mediagua
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	4
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Desigualdad
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 7

Calderón	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	3
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, más de 3
¿Cuál es su rol en la familia?	Madre
¿Cuál es su actividad económica?	En transporte público
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Secundaria/Bachillerato
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Vehículo propio Familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, Otra construcción
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen construtoras interesadas en construir?	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	No
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí, pero hay lugares mejores
Como percibe la seguridad del sector	Normal

¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	5
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Falta de atención municipal
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	Sí

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 8

Calderón	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Guayas
Cuantos miembros son del núcleo familiar	5
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, más de 3
¿Cuál es su rol en la familia?	Madre
¿Cuál es su actividad económica?	Cultivador
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Primaria
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	1
¿Quién provee el hogar?	Padre de familia
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Transporte público Por familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Herencia
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, ampliación/modificación horizontal
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, lo normal
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen construtoras interesadas en construir?	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	No
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	No
Como percibe la seguridad del sector	Normal

¿Tiene actividad agrícola?	Sí
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Mediagua
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	5
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Falta de atención municipal
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé



Entrevista 9

CALDERÓN SAN JUAN DE BELLAVISTA CUSNIJEROS	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Ibarra
Cuántos miembros son del núcleo familiar	4
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, 3 más
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Comerciante
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Secundaria/Bachillerato
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Transporte público Familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio? ¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	hasta 5 años Herencia
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, Otra construcción
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, lo normal
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Buen precio
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	No
Tienen cerca paradas de transporte público.	No

Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí, pero hay lugares mejores
Como percibe la seguridad del sector	Normal
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Mediagua
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	En tramite
¿Cuántos dormitorios?	2
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	4
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Falta de atención municipal
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	Sí

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 10

¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Ibarra
Cuántos miembros son del núcleo familiar	3
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, 3 más
¿Cuál es su rol en la familia?	Madre
¿Cuál es su actividad económica?	Mecánico
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Superior/Universidad
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?,	Transporte público
¿Cómo conoció el lugar?	Familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Herencia
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, Otra construcción
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente

¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí he visto
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí, pero hay lugares mejores
Como percibe la seguridad del sector	Normal
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica, agua potable, alcantarillado
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	3
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	2
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	8
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social,	Falta de atención municipal

inseguridad, desigualdad, etc.	
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	Sí
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 11

¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Tulcán
Cuántos miembros son del núcleo familiar	1
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	Sí
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Obrero
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Primaria
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	1
¿Quién provee el hogar?	Padre de familia
¿Cuál es su medio de movilización?,	Transporte público
¿Cómo conoció el lugar?	Amigos y conocidos
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Cuidador (Huachiman)
¿Cuántas personas herederas son?	1
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, ampliación/modificación horizontal
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente

¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí he visto
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Buen precio
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí, pero hay lugares mejores
Como percibe la seguridad del sector	Normal
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Guachimanía
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica, agua potable, alcantarillado
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No
¿Cuántos dormitorios?	1
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	1
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	2
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social,	Desigualdad

inseguridad, desigualdad, etc.	
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No



Entrevista 12

COLINAS DEL SOL / CALDERÓN	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Carchi
Cuántos miembros son del núcleo familiar	4
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, 1 más
¿Cuál es su rol en la familia?	Hijo
¿Cuál es su actividad económica?	Costurera
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Superior/Universidad
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?,	Vehículo propio
¿Cómo conoció el lugar?	Familiares
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	más de 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	2
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, otro piso
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, por intermediarios
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí, he estado en contacto

¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Buen precio
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	No
Tienen cerca paradas de transporte público.	No
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí
Como percibe la seguridad del sector	Normal
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica, agua potable, alcantarillado
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	En trámite
¿Cuántos dormitorios?	4
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	2
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	16
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Inseguridad

¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	No
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



Entrevista 13

CALDERÓN BELLAVISTA SAN JUAN DE CALDERÓN	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	6
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	No, 2 más
¿Cuál es su rol en la familia?	Padre
¿Cuál es su actividad económica?	Comerciante
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Primaria
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Ambos
¿Cuál es su medio de movilización?,	Vehículo propio
¿Cómo conoció el lugar?	Familiares amigos
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	de 5 a 10 años
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Construida
¿Cuántas personas herederas son?	más de 3
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí, Otra construcción
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Sí, rápidamente
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Sí, directamente

¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí he visto
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Acorde al sector
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Sí, cerca
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí
Tienen cerca paradas de transporte público.	Sí
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí
Como percibe la seguridad del sector	Alta, tranquila
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No
Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	Casa, Residencia
Posee instalaciones de servicios básicos	Luz eléctrica, agua potable, alcantarillado
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	En tramite
¿Cuántos dormitorios?	4
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	2
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	15
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social,	Falta de atención municipal

inseguridad, desigualdad, etc.	
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	Sí
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	No lo sé



Entrevista 14

CALDERÓN BELLAVISTA SAN JUAN DE CALDERÓN	
¿Cuál es su lugar de nacimiento/ procedencia?	Quito
Cuántos miembros son del núcleo familiar	2
¿Aquí habita solo su núcleo familiar?	Sí
¿Cuál es su rol en la familia?	Esposo
¿Cuál es su actividad económica?	Dentista
¿Cuál es su nivel de educación? Escuela, Colegio, Universidad	Universidad
¿Cuántas personas mayores a 18 años aportan económicamente en el hogar?	2
¿Quién provee el hogar?	Esposo y esposa
¿Cuál es su medio de movilización?, ¿Cómo conoció el lugar?	Transporte público Lotes económicos en venta
¿Cuánto tiempo vive en el domicilio?	Terreno en comercialización 0 en trámite de venta
¿La propiedad fue adquirida, heredada o adquirida por asentamiento?	Comprada
¿Cuántas personas herederas son?	0
¿Piensa realizar alguna construcción adicional?	Sí
¿Cree que el número de vecinos está creciendo, cree que construyan nuevas edificaciones?	Desconozco
¿Conoce a personas interesadas en construir y/o vivir en el sector?	Desconozco
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Desconozco
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y en el sector, es un buen precio?	Buen precio
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	Desconozco
¿Tiene actividades industriales cerca?	Desconozco
Tienen cerca paradas de transporte público.	Sí
Recomendaría alguien vivir en el sector o a su vez le recomendaría adquirir su vivienda.	Sí
Como percibe la seguridad del sector	Desconozco
¿Tiene actividad agrícola?	No
¿Cuenta con un área específica para crianza de animales de granja? o actividades agropecuarias	No

Considera que la construcción realizada en su Lote o predio es:	
Posee instalaciones de servicios básicos	No
¿La construcción se encuentra legalizada en el municipio de Quito?	No hay construcciones
¿Cuántos dormitorios?	
¿Cuántos baños tienen su propiedad?	
¿Cuántos focos de luz activos tiene su propiedad?	
¿Qué problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Desconozco
¿Siente que forma parte de una comunidad, existe participación ciudadana?	Desconozco
¿Cree que es un buen lugar para criar una familia?	Desconozco



Anexos C. Encuesta a través de formulario electrónico a grupos en redes sociales a habitantes de la parroquia de Calderón.

¿Cuáles su nombre?	Encuesta 1	Encuesta 2	Encuesta 3	Encuesta 4	Encuesta 5	Encuesta 6	Encuesta 7
Sector de Calderón donde vive	Marianitas	Bellavista	Barrio Gross sector marianitas de Calderón	Marianitas de Calderón	Carapungo	Barrio Gross	Calderón centro
El sector donde vive es:	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y alrededores
¿Cuál es su edad?	41-50	31-40	51-60	51-60	31-40	41-50	20-30
Lugar de nacimiento (ciudad / poblado)	Ibarra	Quito	23 de octubre de 1961	Quito	20 de junio de 1981	Quito	Quito
Estado civil	Divorciado	Casado	Casado	Soltero	Soltero	Casado	Soltero
¿Con cuántas personas vive? (número)	2	4	4	3	Con mi mamá	3	4
Su ingreso económico es:	En relación de dependencia	En relación de dependencia	En relación de dependencia	Actualmente desempleado	En relación de dependencia	En relación de dependencia	En relación de dependencia
Su atención médica la recibe por medio de:	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Atención a través del ministerio de salud en centros, subcentros u hospitales de atención gratuita	Seguro privado	Afiliación al Seguro Social IESS
¿Desde cuándo vive en Calderón?	Más de 20 años	10-20 años	5-10 años	Pocos meses	Más de 20 años	1-5 años	Más de 20 años
De sus familiares y amigos cercanos, ¿cuántas familias tendrán la intención de mudarse a Calderón?	Ninguno	0	No se	2	Algunos	0	0
¿Cómo llegó a vivir en Calderón?	Compra de lote de	Casa de	Porque antes vivía	Por oportuno	No se	Porque me	Familiares

	oportunidad	mis padres	en Carapungo	edad de compra terreno		gustó el sector	
La propiedad donde vive es:	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia
La propiedad que posee es:	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada
Si la propiedad es heredada, ¿Cuántos herederos son?	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Más de 2	No aplica	No aplica
¿Por qué escogió este lugar para vivir?	Clima agradable, descontaminación	Lejos del ruido	Por su clima	Por la naturaleza	Supuestamente por tranquilidad	Por el precio	Por cuestiones económicas
¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No
¿Considera usted que el número de vecinos ha crecido en los últimos 5 años?	Bastante	Poco	Bastante	Bastante	Bastante	Poco	Bastante
¿Conoce vecinos interesados en construir en los próximos años?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y parcelas en el sector?	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad	Es aceptable por las características de la propiedad	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro
¿Conoce a alguien que está vendiendo lotes?	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	No	No	No	No	Sí	No	No
¿Tiene actividades industriales cerca?	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No
La propiedad cuenta con áreas construidas:	Edificación con varios departamentos	Casa	Casa	No	Departamento y local comercial	Casa	Edificación con varios departamentos
¿La construcción cuenta con planos aprobados por el municipio de Quito?	En espera de lineamientos por	Sí	En espera de lineamientos por	En trámite de aprobación	Sí	Sí	En espera de lineamientos por

	ordenanza para legalizar la construcci ón existente	3	ordenanza para legalizar la construcci ón existente	1	ión de planos para iniciar constru cción	3	1	ordenanza para legalizar la construcci ón existente	Más de 3	3
¿Cuántos baños tiene su casa?	Más de 3	3	1	3	1	Más de 3	3			
¿Cuál problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Insegurida d	Inse guri dad	La insegurida d	Insegur idad	Inseguridad puro choros	Insegu ridad	Insegurida d y desigualda d además de informalid ad comercial			
¿Siente que forma parte de una comunidad?	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No			
Participa activamente en las decisiones de su comunidad, se involucra en obras y actividades propuestas por su dirigente barrial	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No			
Su sector cuenta con:	UPC	Nin gun a	Ninguna	UPC	Cámaras de vigilancia	UPC	Ninguna			
La dirigencia barrial se encuentra establecida bajo acuerdo ministerial	Sí	No	Desconoz co	Descon ozco	Desconozco	Desco nozco	Desconoz co			
Los vecinos se han organizado contra la delincuencia	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No			
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el municipio de quito	No	No	No	No	Sí	Sí	No			
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el concejo provincial	No	Sí	No	No	Sí	No	No			
Autoridades de entidades como el municipio de quito o concejo provincial han hecho un acercamiento con la población para conocer sus necesidades	Sí	No	Desconoz co	Descon ozco	Desconozco	Desco nozco	No			
Cuenta con áreas de recreación comunal con infraestructura adecuada y con	Sí	No	No	No	No	No	No			

mantenimiento tales como parques, plazas, mercados								
¿Desearía un parque con infraestructura adecuada que asegure la iluminación, seguridad y fuentes de agua para consumo y limpieza de los visitantes?	Sí	Sí	Sí	Sí	Me es indiferente	Sí	Sí	

¿Cuáles su nombre?	Encuesta 8	Encuesta 9	Encuesta 10	Encuesta 11	Encuesta 12	Encuesta 13	Encuesta 14
Sector de Calderón donde vive	Marianitas - Sector Zabala (Virgen de Monserat)	Esperanza Progreso	Marianitas	Marianitas de Calderón	Marianas	Marianas	Carapungo
El sector donde vive es:	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón
¿Cuáles su edad?	51-60	41-50	41-50	31-40	41-50	41-50	31-40
Lugar de nacimiento (ciudad / poblado)	Quito	Patate	Quito	Quito	Quito	Quito	Quito
Estado civil	Casado	Divorciado	Casado	Soltero	Unión libre	Unión libre	Unión libre
¿Con cuántas personas vive? (número)	Tres	Sola	4	1	Tres	Tres	5
Su ingreso económico es:	En relación de dependencia	En relación de dependencia	En relación de dependencia	Actualmente desempleado	En relación de dependencia	En relación de dependencia	Comercialmente independiente
Su atención médica la recibe por medio de:	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Establecimientos particulares con sus propios recursos	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Atención a través del Ministerio de Salud en Centros, Subcentros u Hospitales de Atención gratuita

¿Desde cuándo vive en Calderón?	5-10 años	1-5 años	10-20 años	Pocos Meses	1-5 años	1-5 años	Más de 20 años
De sus familiares y amigos cercanos, ¿cuántas familias tendrán la intención de mudarse a Calderón?	Ninguna	1	Sí	1	No lo sé	No lo sé	Ninguna
¿Cómo llegó a vivir en Calderón?	Buscando Proyectos de Vivienda	Porque compre un terreno	Casa propia	Construí mi casa	Por mis suegros	Por mis suegros	Por mis padres
La propiedad donde vive es:	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia
La propiedad que posee es:	Comprada	Comprada	Comprada	Heredada	Comprada	Comprada	Comprada
Si la propiedad es heredada, ¿cuántos herederos son?	No aplica		No aplica	2	No aplica	No aplica	No aplica
¿Por qué escogió este lugar para vivir?	Pensé que era un buen lugar, pero lamentablemente no hay Atención de parte de los Gobiernos seccionales, desorden vehicular, no hay suministro de agua de forma regular, delincuencia.	Precio del terreno accesible	Costos	Es propio	Clima	Clima	Por mis padres
¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Considera usted que el número de	Bastante	Bastante	Poco	Bastante	Bastante	Bastante	Bastante

	encia, liberadores escándalos, falta de cultura.						
¿Siente que forma parte de una comunidad?	No	Sí	No	No	No	No	Sí
Participa activamente en las decisiones de su comunidad, se involucra en obras y actividades propuestas por su dirigente barrial	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Su sector cuenta con:	Todas	Ninguna	UPC	Todas	UPC	UPC	Alarma Comunitaria
La dirigencia barrial se encuentra establecida bajo acuerdo ministerial	Sí	Desconozco	Desconozco	Sí	Sí	Sí	No
Los vecinos se han organizado contra la delincuencia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el municipio de quito	No	No	Sí	No	No	No	No
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el concejo provincial	No	No	No	No	No	No	No
Autoridades de entidades como el municipio de quito o concejo provincial han hecho un acercamiento con la población para conocer sus necesidades	Desconozco	Desconozco	Desconozco	No	No	No	No
Cuenta con áreas de recreación comunal con infraestructura adecuada y con mantenimiento tales como	No	No	No	No	No	No	No

parques, plazas, mercados							
¿Desearía un parque con infraestructura adecuada que asegure la iluminación, seguridad y fuentes de agua para consumo y limpieza de los visitantes?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

¿Cuáles su nombre?	Encuesta 15	Encuesta 16	Encuesta 17	Encuesta 18	Encuesta 19	Encuesta 20	Encuesta 21
Sector de Calderón donde vive	Calderón	Marianas	Marianitas	Ciudad Bicentenario	Marianitas	Bellavista	Marianitas de Calderón Barrio Gross
El sector donde vive es:	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores
¿Cuáles su edad?	41-50	31-40	31-40	31-40	31-40	31-40	31-40
Lugar de nacimiento (ciudad / poblado)	Quito	Quito	Quito	Quito	Loja	Quito	Quito
Estado civil	Divorciado	Soltero	Casado	Casado	Soltero	Casado	Viudo
¿Con cuántas personas vive? (número)	3	4 personas	3	2	Tres	5	10
Su ingreso económico es:	En relación de dependencia	En relación de dependencia	Comerciante independiente	En relación de dependencia	Actualmente desempleado	Comerciante independiente	Comerciante independiente
Su atención médica la recibe por medio de:	Atención a través del Ministerio de Salud en Centros, Subcentros u Hospitales de Atención gratuita	Afiliación al Seguro Social IESS	Establecimientos particulares con sus propios recursos	Seguro Privado	Establecimientos particulares con sus propios recursos	Afiliación al Seguro Social IESS	Atención a través del Ministerio de Salud en Centros, Subcentros u Hospitales de Atención gratuita

¿Desde cuándo vive en Calderón?	1-5 años	Más de 20 años	5-10 años	1-5 años	1-5 años	5-10 años	1-5 años
De sus familiares y amigos cercanos, ¿cuántas familias tendrán la intención de mudarse a Calderón?	Si	2 familias	0	1	3	2	2 familias
¿Cómo llegó a vivir en Calderón?	Necesidad	Por mi madre que le trajeron a vivir acá a Calderón	Por ayuda con cuidado de mi hijo	Buscando viviendas	Casa de familia	Plan vivienda	Por un familiar que vivía en el sector
La propiedad donde vive es:	Alquilada	La cuida	Alquilada	Propia	Alquilada	Alquilada	Propia
La propiedad que posee es:	Hereditada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada
Si la propiedad es heredada, ¿cuántos herederos son?	2	No aplica			No aplica	No aplica	No aplica
¿Por qué escogió este lugar para vivir?	Clima	El clima	Por necesidad	Costos, clima	Porque me gusta el clima	Plan vivienda	Por el clima y la comodidad
¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí
¿Considera usted que el número de vecinos ha crecido en los últimos 5 años?	Poco	Bastante	Bastante	Poco	Bastante	Bastante	Bastante
¿Conoce vecinos interesados en construir en los próximos años?	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y parcelas en el sector?	Caro	Caro	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro
¿Conoce a alguien que está vendiendo lotes?	Sí	No	No	No	Sí	No	No

¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	No	Sí	No	No	No	No	No
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
La propiedad cuenta con áreas construidas:	Departamento	Mediana	No	Conjunto habitacional	Casa	Casa	Casa
¿La construcción cuenta con planos aprobados por el municipio de Quito?	Sí	En trámite de aprobación de planos para iniciar construcción	Sí	Sí	Sí	Sí	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente
¿Cuántos baños tiene su casa?	2	1	3	3	3	2	2
¿Cuál problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad, desigualdad
¿Siente que forma parte de una comunidad?	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí
Participa activamente en las decisiones de su comunidad, se involucra en obras y actividades propuestas por su dirigente barrial	No	No	No	No	Sí	No	Sí
Su sector cuenta con:	UPC	UPC	Ninguna	Todas	Ninguna	Ninguna	Ninguna
La dirigencia barrial se encuentra establecida bajo acuerdo ministerial	Desconozco	Desconozco	Desconozco	Sí	Sí	Desconozco	Desconozco
Los vecinos se han organizado contra la delincuencia	Sí	No	No	No	Sí	No	No
Cuentan con obras e infraestructura	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí

proporcionadas por el municipio de quito							
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el concejo provincial	Sí	No	No	No	Sí	No	No
Autoridades de entidades como el municipio de quito o concejo provincial han hecho un acercamiento con la población para conocer sus necesidades	Sí	No	No	Desconozco	No	Desconozco	No
Cuenta con áreas de recreación comunal con infraestructura adecuada y con mantenimiento tales como parques, plazas, mercados	Sí	No	No	Sí	No	No	No
¿Desearía un parque con infraestructura adecuada que asegure la iluminación, seguridad y fuentes de agua para consumo y limpieza de los visitantes?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

¿Cuáles su nombre?	Encuesta 22	Encuesta 23	Encuesta 24	Encuesta 25	Encuesta 26	Encuesta 27	Encuesta 28
Sector de Calderón donde vive	Marianas	Barrio Gross sector Marianitas de Calderón	Marianas	Marianas	Marianitas de Calderón	Barriogros0	San Juan
El sector donde vive es:	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Periferia de la parroquia de Calderón	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Periferia de la parroquia de Calderón
¿Cuáles su edad?	20-30	41-50	41-50	31-40	Más de 60	41-50	31-40
Lugar de nacimiento (ciudad / poblado)	Quito	7 de junio 1970	Quito	Quito	Quito Ecuador	Carchi	San Pablo-Guaranda

Estado civil	Casado	Casado	Unión libre	Casado	Divorcio	Casado	Unión libre
¿Con cuántas personas vive? (número)	3	4 personas	4	5	Tres	7	2
Su ingreso económico es:	En relación de dependencia	Actualmente desempleado	En relación de dependencia	Comerciante independiente	En relación de dependencia	En relación de dependencia	En relación de dependencia
Su atención médica la recibe por medio de:	Atención a través del Ministerio de Salud en Centros, Centros, Subcentros u Hospitales de Atención gratuita	Atención a través del Ministerio de Salud en Centros, Subcentros u Hospitales de Atención gratuita	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Establecimientos particulares con sus propios recursos	Afiliación al Seguro Social IESS
¿Desde cuándo vive en Calderón?	10-20 años	5-10 años	5-10 años	1-5 años	Más de 20 años	1-5 años	1-5 años
De sus familiares y amigos cercanos, ¿cuántas familias tendrán la intención de mudarse a Calderón?	4	No se	Ninguno	10	Varias personas de mi familia	Ninguno	1 familia
¿Cómo llegó a vivir en Calderón?	Al haberme casado	Vivía en Carapungo	Por tengo mi casa ahí	Adquisición de un terreno	Compré una casa	Me gusta	Por la relación actual que tengo
La propiedad donde vive es:	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia	Propia
La propiedad que posee es:	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada
Si la propiedad es heredada, ¿cuántos herederos son?	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
¿Por qué escogió este lugar para vivir?	Aquí vivía mi esposo	Por su clima	Por el clima	Porque es muy tranquilo	Porque el clima es abrigado, todavía no está superpoblado, porque el precio de los inmuebles	Me gusta	El ambiente y el clima

	es no es muy caro.						
¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
¿Considera usted que el número de vecinos ha crecido en los últimos 5 años?	Poco	Bastante	Bastante	Bastante	Bastante	Poco	Bastante
¿Conoce vecinos interesados en construir en los próximos años?	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y parcelas en el sector?	Caro	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad	Es aceptable por las características de la propiedad	Es aceptable por las características de la propiedad	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro
¿Conoce a alguien que está vendiendo lotes?	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a modo fraccionado?	No	No	No	No	No	No	Sí
¿Tiene actividades industriales cerca?	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
La propiedad cuenta con áreas construidas:	No	Casa	Casa	Casa y local comercial	Casa	No	Casa
¿La construcción cuenta con planos aprobados por el municipio de quito?	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente	Sí	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente	Sí	Sí	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente

¿Cuántos baños tiene su casa?	1	2	1	3	Más de 3	2	2
¿Cuál problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad
¿Siente que forma parte de una comunidad?	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Participa activamente en las decisiones de su comunidad, se involucra en obras y actividades propuestas por su dirigente barrial	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Su sector cuenta con:	UPC	Ninguna	UPC	UPC	UPC	Ninguna	UPC
La dirigencia barrial se encuentra establecida bajo acuerdo ministerial	Sí	Desconozco	Sí	Desconozco	Desconozco	Desconozco	Desconozco
Los vecinos se han organizado contra la delincuencia	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el municipio de Quito	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el concejo provincial	No	No	No	No	Sí	Sí	No
Autoridades de entidades como el municipio de Quito o concejo provincial han hecho un acercamiento con la población para conocer sus necesidades	Sí	Desconozco	Desconozco	No	Desconozco	Desconozco	Desconozco
Cuenta con áreas de recreación comunal con infraestructura adecuada y con mantenimiento tales como	No	No	No	No	No	No	Sí

parques, plazas, mercados	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Desearía un parque con infraestructura adecuada que asegure la iluminación, seguridad y fuentes de agua para consumo y limpieza de los visitantes?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

¿Cuáles su nombre?	Encuesta 29	Encuesta 30	Encuesta 31	Encuesta 32	Encuesta 33	Encuesta 34	Encuesta 35
Sector de Calderón donde vive	Marianas	Carapungo	San Luis	Calle Carapungo y Duchicela	Calderón	Marianas	Urbanización Gross
El sector donde vive es:	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores	Centro de Calderón y Alrededores
¿Cuáles su edad?	51-60	41-50	20-30	20-30	41-50	31-40	31-40
Lugar de nacimiento (ciudad / poblado)	Parroquia Concepción provincia del Carchi cantón Mira	Quito	Quito	Quito	Quito	Quito	Quito
Estado civil	Casado	Casado	Casado	Soltero	Casado	Casado	Casado
¿Con cuántas personas vive? (número)	5	4	5	5 en total	2	2	4
Su ingreso económico es:	En relación de dependencia	En relación de dependencia	En relación de dependencia	Comerciante independiente	En relación de dependencia	Comerciante independiente	En relación de dependencia
Su atención médica la recibe por medio de:	Seguro Privado	Afiliación al Seguro Social IESS	Establecimientos particulares con sus propios recursos	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS
¿Desde cuándo vive en Calderón?	5-10 años	10-20 años	1-5 años	10-20 años	Más de 20 años	1-5 años	Pocos Meses

De sus familiares y amigos cercanos, ¿cuántas familias tendrán la intención de mudarse a Calderón?	Todos	todas	Ninguno	No tengo idea ya que no hay tantos lugares habitables en Calderón	Ninguna	2	No se
¿Cómo llegó a vivir en Calderón?	Por interés propio	compra de casa	Trabajo	Por mis padres	Por compra de vivienda	herencia	Compra de vivienda
La propiedad donde vive es:	Propia	Propia	Propia	Alquilada	Propia	Propia	Propia
La propiedad que posee es:	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Comprada	Hereditaria	Comprada
Si la propiedad es heredada, ¿cuántos herederos son?	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	2	No aplica
¿Por qué escogió este lugar para vivir?	Por el espacio independiente	su clima	Cercano al trabajo	No puedo responder	Clima	Barato	Todos los servicios, precio
¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Considera usted que el número de vecinos ha crecido en los últimos 5 años?	Bastante	Bastante	Bastante	Bastante	Bastante	Bastante	Bastante
¿Conoce vecinos interesados en construir en los próximos años?	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y parcelas en el sector?	Caro	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad
¿Conoce a alguien que está vendiendo lotes?	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No

modo fraccionado?							
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No
La propiedad cuenta con áreas construidas:	Casa	Casa	Casa	Departamento y local comercial	Casa	Casa	Casa
¿La construcción cuenta con planos aprobados por el municipio de Quito?	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente	Sí	Sí	Sí	Sí	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente	Sí
¿Cuántos baños tiene su casa?	Más de 3	2	3	Más de 3	3	Más de 3	3
¿Cuál problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Desigualdad	inseguridad	Inseguridad	Ninguna	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad
¿Siente que forma parte de una comunidad?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Participa activamente en las decisiones de su comunidad, se involucra en obras y actividades propuestas por su dirigente barrial	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Su sector cuenta con:	UPC	Ninguna	Ninguna	Cámaras de vigilancia	Todas	Ninguna	Ninguna
La dirigencia barrial se encuentra establecida bajo acuerdo ministerial	Si	Si	No	Desconozco	Sí	Sí	Desconozco
Los vecinos se han organizado contra la delincuencia	No	No	SI	No	Sí	Sí	No

Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el municipio de quito	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el concejo provincial	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No
Autoridades de entidades como el municipio de quito o concejo provincial han hecho un acercamiento con la población para conocer sus necesidades	Sí	No	No	Desconozco	Desconozco	No	No
Cuenta con áreas de recreación comunal con infraestructura adecuada y con mantenimiento tales como parques, plazas, mercados	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
¿Desearía un parque con infraestructura adecuada que asegure la iluminación, seguridad y fuentes de agua para consumo y limpieza de los visitantes?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

¿Cuáles su nombre?	Encuesta 36	Encuesta 37	Encuesta 38
Sector de Calderón donde vive	Bellavista	Marianistas	Marian
El sector donde vive es:	Centro de Calderón y Alrededores	Periferia de la parroquia de Calderón	Centro de Calderón y Alrededores
¿Cuáles su edad?	31-40	51-60	31-40
Lugar de nacimiento (ciudad / poblado)	Quito	Quito	Loja
Estado civil	Casado	Casado	Casado
¿Con cuantas personas vive? (número)	5	4	4

Su ingreso económico es:	En relación de dependencia	Actualmente desempleado	Comerciante independiente
Su atención médica la recibe por medio de:	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS	Afiliación al Seguro Social IESS
¿Desde cuándo vive en Calderón?	10-20 años	10-20 años	1-5 años
De sus familiares y amigos cercanos, ¿cuántas familias tendrán la intención de mudarse a Calderón?	Ninguno	6	Muchas
¿Cómo llegó a vivir en Calderón?	Familia	Por compra de propiedad	X lo caliente
La propiedad donde vive es:	Propia	Propia	Propia
La propiedad que posee es:	Comprada	Comprada	Comprada
Si la propiedad es heredada, ¿cuántos herederos son?	No aplica	Más de 2	No aplica
¿Por qué escogió este lugar para vivir?	Lejos ruido	Por el clima cálido	El clima zona residencial a tranquila y lo que está cerca a todo
¿Ha pensado construir en un futuro en la propiedad?	No	Sí	Sí
¿Considera usted que el número de vecinos ha crecido en los últimos 5 años?	Bastante	Bastante	Bastante
¿Conoce vecinos interesados en construir en los próximos años?	Sí	Sí	Sí
¿Ha observado o sabe si existen constructoras interesadas en construir?	Sí	Sí	Sí
¿Cómo le parece la oferta de terrenos y parcelas en el sector?	Caro	Es aceptable por las características de la propiedad	Caro
¿Conoce a alguien que está vendiendo lotes?	Sí	Sí	Sí
¿Conoce algún vecino que este vendiendo sus propiedades a	No	No	No

modo fraccionado?			
¿Tiene actividades industriales cerca?	Sí	Sí	Sí
La propiedad cuenta con áreas construidas:	Casa	Mediagua	Conjunto habitacional
¿La construcción cuenta con planos aprobados por el municipio de quito?	Sí	En espera de lineamientos por ordenanza para legalizar la construcción existente	Sí
¿Cuántos baños tiene su casa?	3	1	2
¿Cuál problemática social siente que se vive más? Exclusión social, inseguridad, desigualdad, etc.	Inseguridad	Inseguridad	Inseguridad y desigualdad
¿Siente que forma parte de una comunidad?	Sí	Sí	Sí
Participa activamente en las decisiones de su comunidad, se involucra en obras y actividades propuestas por su dirigente barrial	Sí	Sí	Sí
Su sector cuenta con:	Ninguna	UPC	Ninguna
La dirigencia barrial se encuentra establecida bajo acuerdo ministerial	No	Sí	Desconozco
Los vecinos se han organizado contra la delincuencia	Sí	Sí	Sí
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el municipio de quito	Sí	Sí	No
Cuentan con obras e infraestructura proporcionadas por el concejo provincial	Sí	Sí	No
Autoridades de entidades como	No	Desconozco	No

el municipio de quito o concejo provincial han hecho un acercamiento con la población para conocer sus necesidades			
Cuenta con áreas de recreación comunal con infraestructura adecuada y con mantenimiento tales como parques, plazas, mercados	No	No	No
¿Desearía un parque con infraestructura adecuada que asegure la iluminación, seguridad y fuentes de agua para consumo y limpieza de los visitantes?	Sí	Sí	Sí

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
GEOPRONÓSTICOS DE ASENTAMIENTOS CON CONSTRUCCIÓN CIVIL EN ÁREAS PERIFÉRICAS BASADO
EN AUTÓMATAS CELULARES, CASO ZONA CRÍTICA DE QUITO - ECUADOR.
RENÉ ESTEBAN ULLOA ESPÍNDOLA



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**